



UNIVERSIDADE DE LISBOA
FACULDADE DE MOTRICIDADE HUMANA



Avaliação do desempenho de *smartphones* e *tablets* na medição do ruído

Dissertação elaborada com vista à obtenção do Grau de Mestre em Ergonomia

Orientador: Professor Doutor Rui Miguel Bettencourt Melo

Júri

Presidente: Professora Doutora Filipa Catarina Vasconcelos da Silva Pinto Marto
Carvalho

Vogais: Professor Doutor Rui Miguel Bettencourt Melo

Professora Doutora Maria Celeste Rodrigues Jacinto

Joana Mafalda de Carvalho Vaz Alcobia Mendes

2019

AGRADECIMENTOS

Devido ao espaço limitado nesta divisão, não será possível agradecer individualmente a todas as pessoas que ajudaram-me direta ou indiretamente para a realização desta dissertação. Porém mesmo assim, aproveito para dizer um “Muito Obrigado a todos!”

- Ao Professor Doutor Rui Miguel Bettencourt Melo, pela orientação, apoio, disponibilidade e ajuda em determinados momentos críticos que foram surgindo ao longo desta dissertação.
- À minha família, em especial aos meus pais, porque tudo o que eu sou hoje devo a eles. Aproveito para pedir desculpas por algumas noites mal dormidas, devido aos meus ataques de ansiedade.
- Aos meus amigos, ou seja, à minha segunda família, aquela que tive o privilégio de escolher. Obrigada pelo apoio prestado nos bons e nos maus momentos.

RESUMO

A prevalência dos *smartphones* e *tablets* na sociedade, enriquecidos com inúmeros sensores, tem permitido a criação de aplicações essenciais às nossas necessidades.

O objetivo deste trabalho consistiu em avaliar o desempenho de *smartphones* e de *tablets* na medição de ruído, em termos de exatidão e precisão.

Foram analisados onze *smartphones* e cinco *tablets*, com recurso a duas aplicações *Android* e três *iOS*. A partir de gravações áudio simularam-se sete níveis sonoros contínuos equivalentes, entre 60 dB(A) e 90 dB(A), de ruído rosa e uma situação de ruído industrial. A análise dos resultados baseou-se na diferença entre os valores lidos pelos *smartphones* e *tablets* e os obtidos com um sonómetro.

A aplicação *Lite* do *iOS* apresentou melhores resultados relativos ao nível sonoro contínuo equivalente, enquanto que na medição do nível de pressão sonora de pico se obteve maior exatidão em *tablets*.

Verificou-se que o desempenho dos equipamentos diminui à medida que têm de medir ruídos com níveis sonoros mais elevados e o seu comportamento, em termos de exatidão e precisão, é melhor na medição de ruído rosa do que de ruído industrial.

Assim concluímos que o uso de *smartphones* e *tablets* como substitutos de sonómetros e dosímetros parece não ser, por enquanto, apropriado.

Palavras-chaves: *Smartphones*; *Tablets*; Medição; Ruído; Exatidão; Precisão; Desempenho; Aplicações; Sistema Operativo; Sonómetro.

ABSTRACT

The prevalence of *smartphones* and *tablets* in society, enriched with numerous sensors, has allowed the creation of applications essential to our needs.

The objective of this work was to evaluate the performance of *smartphones* and *tablets* in noise measurement, in terms of accuracy and precision.

Eleven *smartphones* and five *tablets* were analyzed using two *Android* and three *iOS* applications. From audio recordings, seven equivalent continuous sound levels, between 60 dB (A) and 90 dB (A), of pink noise and one industrial noise situation were simulated. The analysis of the results was based on the difference between the values read by *smartphones* and *tablets* and those obtained with a sound level meter.

The *iOS Lite app* had better results for the equivalent continuous sound level, while measuring peak sound pressure level got greater accuracy on tablets.

Equipment performance decreases as they measure noise at higher sound levels and their behavior in terms of accuracy and precision is better at measuring pink noise than industrial noise.

So we concluded that the use of smartphones and tablets as substitute of sound level meter and dosimeter seems, for the time being, not appropriate.

Keywords: Smartphones; Tablets; Measurement; Noise; Accuracy; Precision; Performance; Applications; Operating system; Sound level meter

ÍNDICE GERAL

AGRADECIMENTOS.....	i
RESUMO	ii
ABSTRACT.....	iii
ÍNDICE GERAL	iv
ÍNDICE DE FIGURAS	vi
ÍNDICE DE TABELAS	vii
LISTA DE ABREVIATURAS	viii
INTRODUÇÃO.....	1
Objetivos	2
Organização da dissertação.....	2
1. ENQUADRAMENTO GERAL.....	4
1.1. Ruído	4
1.2. Caraterização do ruído.....	6
1.3. Tipos de ruído.....	7
1.3.1. Espectro de Frequências	8
1.3.2. Variações do nível com o tempo	9
1.4. Nível sonoro contínuo equivalente.....	10
1.5. Exposição pessoal diária e Nível de pressão sonora de pico.....	10
1.6. Legislação em vigor	11
1.7. Medição do ruído	13
1.7.1. Sonómetros e Dosímetros.....	14
1.7.2. Requisitos do equipamento de medição	16
1.8. <i>Smartphones e Tablets</i>	21
1.9. Aplicações.....	23

2. METODOLOGIA	27
2.1. Amostras	27
2.2. Equipamentos.....	31
2.3. Condições e procedimentos experimentais	32
2.4. Tratamento de dados	34
3. APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	36
3.1. Desempenho na medição do L_{Aeq} em função das aplicações.....	36
3.2. Desempenho na medição do L_{Aeq} em função do tipo de equipamentos	39
3.3. Desempenho na medição do L_{Aeq} em função dos equipamentos	45
3.4. Desempenho na medição do L_{Aeq} em função do nível de Ruído Rosa.....	51
3.5. Desempenho na medição do L_{Aeq} em função do tipo de ruído	54
3.6. Desempenho na medição do L_{Cpico}	56
CONCLUSÃO	61
BIBLIOGRAFIA	64
APÊNDICE	70

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1- VARIAÇÃO DO D_{LAEQ} EM FUNÇÃO DAS APLICAÇÕES USADAS	37
FIGURA 2- VARIAÇÃO DO D_{LAEQ} PARA AS APLICAÇÕES IOS.	39
FIGURA 3 - VARIAÇÃO DO D_{LAEQ} NOS DOIS TIPOS DE EQUIPAMENTO	40
FIGURA 4 - VARIAÇÃO DO D_{LAEQ} NOS SMARTPHONES E TABLETS DO IOS	41
FIGURA 5 – VALORES DE D_{LAEQ} NOS SMARTPHONES ANDROID, EM FUNÇÃO DAS APLICAÇÕES	42
FIGURA 6 - VARIAÇÃO DO D_{LAEQ} NOS SMARTPHONES IOS, EM FUNÇÃO DAS APLICAÇÕES USADAS	43
FIGURA 7 - VARIAÇÃO DO D_{LAEQ} EM TABLETS IOS, EM FUNÇÃO DAS APLICAÇÕES	44
FIGURA 8 - VARIAÇÃO DO D_{LAEQ} EM FUNÇÃO DOS SMARTPHONES	47
FIGURA 9 - VARIAÇÃO DE D_{LAEQ} EM FUNÇÃO DOS TABLETS	49
FIGURA 10 - VARIAÇÃO DO D_{LAEQ} EM FUNÇÃO DO NÍVEL DE RUÍDO MEDIDO	51
FIGURA 11 - VARIAÇÃO DO D_{LAEQ} EM IOS, EM FUNÇÃO DO NÍVEL DE RUÍDO MEDIDO	53
FIGURA 12 - VARIAÇÃO DE D_{LAEQ} EM FUNÇÃO DO TIPO DE RUÍDO MEDIDO	54
FIGURA 13 - VARIAÇÃO DO D_{LAEQ} EM FUNÇÃO DO TIPO DE RUÍDO MEDIDO, EM SISTEMA IOS	55
FIGURA 14 - VARIAÇÃO DO D_{LCPICO} EM FUNÇÃO DO TIPO DE EQUIPAMENTO	56
FIGURA 15 - VARIAÇÃO DE D_{LCPICO} EM FUNÇÃO DOS SMARTPHONES IOS	58
FIGURA 16 - VARIAÇÃO DE D_{LCPICO} EM FUNÇÃO DO TIPO DE RUÍDO MEDIDO	60

ÍNDICE DE TABELAS

TABELA 1-VALORES DE LIMITE DE EXPOSIÇÃO E DE AÇÃO SUPERIOR E INFERIOR PARA O NÍVEL DE EXPOSIÇÃO DIÁRIA OU SEMANAL E PARA O NÍVEL DE PRESSÃO SONORA DE PICO.....	12
TABELA 2-IDENTIFICAÇÃO DOS SMARTPHONES USADOS NAS MEDIÇÕES	27
TABELA 3-IDENTIFICAÇÃO DOS TABLETS USADOS NAS MEDIÇÕES	28
TABELA 4-ESQUEMA DAS FUNCIONALIDADES DAS APLICAÇÕES ESTUDADAS	31
TABELA 5-CALENDARIZAÇÃO DOS TESTES EFETUADOS	33
TABELA 6-TOTAL DAS COMBINAÇÕES DAS MEDIÇÕES EFETUADAS	36
TABELA 7 – P-VALUES RESULTANTES DA COMPARAÇÃO DO DESEMPENHO DAS 5 APLICAÇÕES	38
TABELA 8- VALORES DE D_{LAEQ} NAS APLICAÇÕES ANDROID	38
TABELA 9 – VALORES DE D_{LAEQ} NOS SMARTPHONES E TABLETS ANDROID.	40
TABELA 10 - VALORES DE D_{LAEQ} NOS TABLETS ANDROID, EM FUNÇÃO DAS APLICAÇÕES USADAS	43
TABELA 11 - P-VALUES RESULTANTES DA COMPARAÇÃO DO DESEMPENHO DAS 3 APLICAÇÕES IOS EM SMARTPHONES.....	44
TABELA 12 - P-VALUES RESULTANTES DA COMPARAÇÃO DO DESEMPENHO NAS 3 APLICAÇÕES IOS, EM TABLETS	45
TABELA 13 – VALORES DE D_{LAEQ} NOS 16 EQUIPAMENTOS	46
TABELA 14 - P-VALUES RESULTANTES DA COMPARAÇÃO DO DESEMPENHO DOS SMARTPHONES	48
TABELA 15 - P-VALUES RESULTANTES DA COMPARAÇÃO DO DESEMPENHO NOS TABLETS	50
TABELA 16 – VALORES DE D_{LAEQ} EM ANDROID, EM FUNÇÃO DO NÍVEL DE RUÍDO MEDIDO	52
TABELA 17 - P-VALUES RESULTANTES DA COMPARAÇÃO DO DESEMPENHO DOS 7 NÍVEIS DE RUÍDO EM ANDROID	53
TABELA 18-DISPERSÃO DO D_{LAEQ} EM FUNÇÃO DO RUÍDO ROSA E DO RUÍDO INDUSTRIAL EM ANDROID.....	55
TABELA 19 - VARIAÇÃO DO D_{LCPICO} EM FUNÇÃO DO EQUIPAMENTO.....	57
TABELA 20 - P-VALUES RESULTANTES DA COMPARAÇÃO DO DESEMPENHO ENTRE 3 EQUIPAMENTOS, NA MEDIÇÃO DO L_{CPICO}	58
TABELA 21 – VALORES DE D_{LCPICO} EM FUNÇÃO DO NÍVEL DE RUÍDO MEDIDO	59

LISTA DE ABREVIATURAS

A – Área

App – Aplicação Móvel

App Store – Loja de Aplicações do Sistema Operativo *iOS*

Arpa Piemonte – Agência Regional para a Proteção do Meio Ambiente *Piemonte*

CE – Comissão Europeia

dB – Decibéis

dB(A) – Decibéis com a ponderação A

dB(C) – Decibéis com a ponderação C

Google Play – Loja de Aplicações do Google

Hz – *Hertz*

L_{Aeq} – Nível sonoro contínuo equivalente com ponderação A

$L_{Aeq,Te}$ – Nível sonoro contínuo equivalente com ponderação A num intervalo de tempo T_e

L_{Cpico} – Nível de pressão sonora de pico com ponderação C

L_{eq} – Nível sonoro contínuo equivalente

$L_{EX,8H}$ – Nível de exposição pessoal diária

L_p – Nível de pressão sonora

L_pA – Nível de pressão sonora com ponderação A

P – Pressão sonora

Pa – *Pascal*

OIT- Organização Internacional do Trabalho

OMS - Organização Mundial de Saúde

SPSS - *Statistical Package for the Social Sciences*

SST- Segurança e Saúde no Trabalho

WHO- *World Health Organization*

INTRODUÇÃO

Nos países da União Europeia, cerca de 50% da população está exposta a níveis de pressão sonora elevados, desencadeando assim perdas auditivas induzidas pelo ruído tal como referido pela *World Health Organization* (WHO, 1999). Assim sendo, o ruído é o principal causador da perda auditiva, sendo considerado por isso um problema de saúde pública. Sabe-se nos dias de hoje que o público-alvo, em especial o que está exposto durante 8 horas por dia a níveis elevados de ruído, vêem a padecer num futuro próximo de surdez. Atualmente, a população está cada vez mais consciente dos impactos que o ruído tem na sua saúde e bem-estar. Para tal é de enorme importância a identificação, a caracterização e a monitorização das situações de risco a fim de se implementarem planos de controlo e de redução do ruído. Para se desenvolver procedimentos de controlo é necessário que a legislação nacional e internacional acompanhem a evolução das condições de trabalho, prevendo assim os modos de operar, com vista à eliminação ou redução dos acidentes de trabalho e das doenças profissionais, estabelecendo uma cultura de segurança.

De acordo com a Comissão Europeia (2017), um em cada quatro europeus está sujeito a níveis sonoros potencialmente nocivos. A redução da capacidade auditiva e a possibilidade de surdez tornam-se assim em possíveis consequências desta exposição, originando distúrbios no sono, perturbações psicológicas e outros efeitos adversos para a saúde.

Segundo o Decreto-Lei nº 9/2007, de 17 de Janeiro, a prevenção do ruído e o controlo da poluição sonora visando a salvaguarda da saúde humana e o bem estar das populações constitui uma tarefa fundamental do Estado, nos termos da Constituição da República Portuguesa e da Lei de Bases do Ambiente. Desta forma torna-se importante a implementação de novos sistemas de monitorização a fim de facilitar ou de melhorar a sua medição.

Assim a prevalência dos *smartphones* e dos *tablets* na sociedade, enriquecidos com inúmeros sensores, tem permitido a criação de aplicações essenciais às nossas necessidades. Contudo estes dispositivos móveis podem não estar

completamente prontos para substituir um sonómetro ou um dosímetro, sendo a sua precisão e exatidão, em geral, muito dependentes da idade e da condição do aparelho e do microfone segundo, Murphy e King (2016). Atualmente, quer o Sistema Operativo *Android* quer o *iOS* dispõem de inúmeras aplicações que acolhem as funcionalidades necessárias para se proceder à medição do ruído, sendo importante a avaliação do desempenho das mesmas.

Objetivos

O objetivo geral deste trabalho consistiu em avaliar se equipamentos como os *smartphones* e os *tablets*, recorrendo a diversas aplicações, medem o ruído de forma tão exata e precisa como os sonómetros, cumprindo os requisitos legislativos e normativos portugueses.

Assim sendo, e de forma mais específica, este estudo pretendeu:

- Comparar o desempenho de diferentes aplicações, smartphones e tablets na medição de ruído, considerando os respetivos Sistemas Operativos;
- Analisar o desempenho de diferentes aplicações, smartphones e tablets na medição de ruídos de diferentes níveis de pressão sonora;
- Analisar o desempenho de diferentes aplicações, smartphones e tablets na medição de ruídos de natureza diferente.

Organização da dissertação

Esta dissertação está organizada em três partes:

- A primeira parte é constituída pela folha de rosto, o resumo e o abstract, os agradecimentos, os índices e a listagem das abreviaturas usadas;
- A segunda parte possui quatro capítulos intitulados por enquadramento teórico, metodologia, apresentação e discussão dos resultados e conclusões;

- Na terceira e última parte da dissertação, encontram-se as referências bibliográficas e o apêndice, que inclui os resultados brutos das medições efetuadas em Laboratório.

No enquadramento teórico apresenta-se uma revisão da literatura relativa à problemática em estudo. Neste capítulo são abordados alguns conceitos pertinentes sobre o tema do ruído. Além destes conceitos são também analisados outros trabalhos de investigação realizados sobre o desempenho de equipamentos portáteis na medição do ruído.

O segundo capítulo, intitulado por metodologia, caracteriza a amostra de *smartphones*, *tablets* e aplicações estudada. São referenciados igualmente os critérios de inclusão. Apresentam-se as condições experimentais e os procedimentos utilizados na recolha de dados. A finalizar este capítulo é descrito o tratamento de dados efetuado, incluindo a análise estatística.

No capítulo seguinte, designado por apresentação e discussão dos resultados, são descritos os resultados obtidos, de acordo com os objetivos definidos, e comparados com os resultados obtidos por outros investigadores.

No capítulo da conclusão é feita uma síntese dos principais resultados, dando-se ênfase aos resultados mais relevantes para responder aos objetivos do estudo. São ainda apresentadas algumas limitações deste estudo e perspetivas de realização de outros que poderão vir a preencher algumas lacunas.

1. ENQUADRAMENTO GERAL

1.1. Ruído

De acordo com o Instituto do Ambiente (IA, 2004), define-se ruído como um som desagradável ou indesejável para o ser Humano. Porém a Organização Internacional do Trabalho (OIT, 2009) afirma que nem todos os sons são ruídos, este pode ser incómodo e interferir com a capacidade de trabalho, sendo propício a provocar acidentes de trabalho ou interferindo com a comunicação e com os sinais de aviso. Do ponto de vista fisiológico o ruído é um fenómeno acústico que produz uma sensação auditiva desagradável ou incomodativa. Em termos gerais é um som incomodativo, desconfortável e, frequentemente, nocivo para o homem de acordo com Freitas (2016).

O ruído representa um fator determinante quer para a saúde dos ouvintes quer mesmo para as questões do envolvimento ambiental. É frequente a população associar ruídos a sons intensos suscetíveis de prejudicar a audição, porém o ruído é uma noção subjetiva, podendo ser definido como todo e qualquer som desagradável num dado momento.

A existência de ruído nos locais de trabalho continua a ser um aspeto perturbador e preocupante da sociedade em que vivemos, tendo repercussões quer nas condições de trabalho quer no resultado da atividade produtiva, afetando também a segurança e a saúde do trabalhador. Sendo a produção de ruído inevitável, podemos tentar controlar os seus níveis dentro de valores recomendados, não expondo assim as pessoas a riscos indesejáveis e garantindo melhores condições de trabalho, originando desta forma um melhor desempenho por parte do trabalhador.

Muito antes da Revolução Industrial, já se suspeitava que a exposição ao ruído originava efeitos prejudiciais na saúde dos trabalhadores. Segundo Arezes (2002) a descoberta da máquina a vapor, conjuntamente com a Revolução Industrial vieram despertar o interesse pelo estudo do ruído como um fator de risco ocupacional. Os trabalhadores que nesta época fabricavam caldeiras a

vapor contraíam perdas auditivas com uma extensão tão elevada, que a patologia ficou conhecida como a doença dos caldeireiros.

Todavia, com o aumento da industrialização tem-se cada vez mais em conta a necessidade de combater os efeitos adversos oriundos do ruído, quer ao nível do ruído ambiental quer ao nível do ruído ocupacional.

O ruído ambiental é todo o ruído inserido no meio ambiente. Segundo o Decreto-Lei nº 9/2007, de 17 de Janeiro, o ruído ambiental é o ruído global observado num determinado instante, devido ao conjunto de fontes sonoras que fazem parte da vizinhança próxima ou longínqua do local considerado.

De acordo com a Diretiva Europeia 2002/49/CE, o ruído ambiental é um som externo indesejado ou prejudicial, criado por atividades humanas, incluindo o ruído emitido por meios de transporte e resultantes de atividades industriais.

O ruído ocupacional surge com origem em todas as atividades executadas em ambiente laboral, tendo repercussões ao nível da comunicação, concentração, fadiga, *stress*, alterações fisiológicas e, em casos mais extremos, pode provocar surdez que por vezes é irreversível. Assim sendo, é importante que seja realizada a monitorização do ruído, a fim de verificar se os níveis de exposição ao ruído estão dentro dos limites recomendados.

Desta forma, um dos principais riscos para a segurança e saúde dos trabalhadores em ambiente laboral é a sua exposição a níveis elevados de ruído, que pode não se manifestar logo como uma lesão mas sim na sequência de uma exposição gradual e prolongada.

Assim a produção de ruído é inevitável, sendo importante que os respetivos níveis sejam controlados dentro dos valores acordados pela legislação, de forma a reduzir a exposição de ruído ocupacional e a contribuir para um ambiente de trabalho favorável.

Conforme o Decreto-Lei nº 182/2006, de 6 de Setembro, a eliminação ou a redução do ruído excessivo é uma obrigação legal muito importante para os empregadores e para os trabalhadores. Quanto mais seguro e saudável for o

ambiente de trabalho, menores serão as probabilidades de acidentes de trabalho, de absentismo elevado e da diminuição do rendimento de trabalho.

O ruído é um perigo para a saúde de toda a gente, tendo um impacto negativo quer a nível social quer a nível fisiológico. Este não afeta apenas os trabalhadores que trabalham em indústrias transformadoras ou na área da construção. De acordo com a Comissão Europeia (2018), a exposição ao ruído contribui para, pelo menos 10 000 mortes prematuras por ano relacionadas com doenças coronárias e acidentes vasculares cerebrais. Em 2012, cerca de um quarto da população ativa da União Europeia estava exposta a níveis de ruído superiores aos valores-límites. Assim é de extrema importância a medição dos níveis de ruído a fim de serem controlados para níveis recomendados.

Eliminar ou reduzir o ruído implica caracterizar a exposição durante o exercício de uma atividade profissional, para avaliar o risco de perda de audição ou de outros desvios de saúde. Tal caracterização apenas é possível através da caracterização de aspetos e variáveis que se descrevem nas secções 1.2 a 1.5.

1.2. Caracterização do ruído

Qualquer fonte sonora emite uma determinada potência acústica, característica e de valor fixo, relacionada com a saída da mesma. As variações sonoras originadas pela fonte têm, no entanto, valores variáveis, dependentes de fatores externos, tais como distância e orientação do recetor, variações de temperatura, tipo de local, entre outros fatores (Miguel, 2014).

A pressão sonora é a diferença entre o nível de pressão do local (não perturbada) e os valores máximos ou mínimos que as oscilações de pressão atigem. Tem origem em vibrações mecânicas e é utilizada como um parâmetro de avaliação das situações de incomodidade ou de risco de trauma auditivo. A pressão sonora pode ser expressa em newton por metro quadrado ($N.m^{-2}$) ou pascal (Pa), tal como referido por Miguel (2014).

O limiar da audição ou a pressão sonora mínima audível é de 20 μPa , o que já origina uma sensação auditiva no Homem. Porém a pressão sonora máxima auditiva também conhecida como o limiar de dor, ocorre a partir de uma pressão de 100 Pa. Contudo, de acordo com Miguel (2014), não é prático utilizar a pressão sonora, pois é uma escala difícil de manusear e porque o ouvido não responde linearmente aos estímulos, mas sim logaritmicamente. A vasta gama de pressões sonoras tornou necessária a criação de uma unidade de medida adequada. O nível de pressão sonora (L_p) expresso em decibéis (dB), corresponde à mais pequena variação de pressão sonora que um ouvido humano pode distinguir, em condições normais de audição. O decibel é o logaritmo da razão entre o valor medido e um valor de referência padronizado (Miguel; 2014). Freitas (2016) refere que a escala varia entre 0 dB (limiar da audição) a 130 dB (limiar da dor).

De acordo com Coelho e Ferreira (2009), o nível de pressão sonora pode ser correlacionado com a resposta não linear do ouvido humano, de forma a traduzir a quantidade de energia que é efetivamente detetada, através da aplicação de uma ponderação ou filtragem em frequência. A curva de ponderação que melhor se correlaciona com a resposta humana é designada pela letra “A” e os níveis de pressão sonora são especificados em decibéis com ponderação em A (dB(A)).

A sensibilidade auditiva é a perceção que o homem tem do som. Tal como afirma Nunes (2006), o nível de pressão sonora é uma característica subjetiva que depende da interpretação que a nossa mente faz dos sons, não sendo por isso considerada uma propriedade física.

1.3. Tipos de ruído

Os ruídos podem ser descritos pelo seu espectro de frequências e pelas variações de nível com o tempo, tal como referido por Miguel (2014).

1.3.1. Espectro de Frequências

A frequência define-se como a velocidade com que as variações ou as oscilações acontecem ao longo do tempo. A noção de frequência permite a distinção entre um som agudo e um som grave. Tendo em conta um ponto da onda sonora, verifica-se que a pressão oscila um determinado número de vezes por segundo, em torno da pressão atmosférica.

De acordo com Freitas (2016), a frequência de um som, designa o número de variações de pressão por segundo. A sua unidade de medição designa-se por Hertz (Hz). Define-se também como frequência ou altura do som o número de flutuações ou períodos por segundo.

Quanto maior a frequência, mais ciclos de oscilações acontecem no mesmo intervalo de tempo. Os sons graves são produzidos através de baixas frequências sonoras, enquanto os sons agudos são produzidos através de altas frequências.

A escala de frequências é dividida em três grupos, parafraseando Miguel (2014):

- Infrassons são sons na gama de frequências inferiores a 20 Hz;
- Gama audível, compreende os sons de frequência de 20 a 20 000 Hz e, tal como o nome indica, é suscetível de provocar reação ao nível da audição humana;
- Ultrassons são sons situados acima de 20 000 Hz. Apesar destes sons não serem ouvidos pelo ser humano, podem ter efeitos nocivos no corpo humano e provocar dores de cabeça e cansaço.

De acordo com Nunes (2006), o ruído branco caracteriza-se por ondas periódicas que apresentam igual energia em todas as frequências, entre 100 e 10 000 Hz. O ruído rosa resulta de uma filtragem do ruído branco, abrangendo uma área mais reduzida do espectro audível, isto é, a sua energia está igualmente distribuída na frequência de 500 a 4000 Hz.

1.3.2. Variações do nível com o tempo

Relativamente à variabilidade no tempo, o ruído pode ser classificado como estacionário ou não estacionário. O ruído estacionário ocorre quando a diferença entre os valores máximo e mínimo do nível de pressão sonora com ponderação em A (L_{PA}), medidos com utilização da característica de resposta lenta de ponderação, for inferior a 5 dB(A), durante o período de observação. Enquanto o ruído não estacionário, segundo Miguel (2014), é caracterizado por um nível variando significativamente durante o período de observação.

Para Miguel (2014), o ruído não estacionário divide-se em três tipos:

- O flutuante, que é um ruído cujo nível de pressão sonora varia continuamente e numa extensão apreciável durante o período de observação;
- O intermitente, que apresenta uma descida abrupta do nível de pressão sonora para o nível de ruído de fundo, várias vezes durante o período de observação, mantendo-se constante durante um tempo de aproximadamente 1 segundo ou superior;
- O impulsivo, que consiste em um ou mais impulsos violentos de energia, com uma duração igual ou inferior a 1 segundo e separados por mais de 0,2 segundos.

Assim o ruído impulsivo ocorre quando a diferença entre o pico do nível de pressão sonora e o nível sonoro contínuo equivalente ponderado A, medidos num intervalo de tempo representativo de duração superior a 5 min, é igual ou superior a 20 dB.

O ruído impulsivo pode ser classificado em impulso isolado de energia e em impulsivo quase estável. Este último é caracterizado por uma série de impulsos de amplitude comparável, com intervalos menores do que 0,2 segundos entre os impulsos individuais.

1.4. Nível sonoro contínuo equivalente

O nível sonoro contínuo equivalente (L_{eq}), representa um nível sonoro constante que, se estivesse presente durante todo o tempo de exposição produziria os mesmos efeitos, em termos de energia, que o nível variável. A decisão acerca da tolerabilidade para uma exposição de curta duração a ruídos contínuos, depende da forma como se estima que o ouvido faz a integração da quantidade de ruído recebido num determinado intervalo de tempo (Miguel, 2014). Existem dois critérios essenciais para esta integração: o de igual energia, que consiste em quantidades iguais de energia acústica que alcançando o ouvido produzem o mesmo efeito, seja qual for a sua distribuição ao longo do tempo; o de igual pressão, que admite que a integração se realiza na dependência da pressão sonora.

Segundo o Decreto-Lei nº 182/2006, de 6 de Setembro, o nível sonoro contínuo equivalente ponderado em A (L_{Aeq}), é um valor constante ao longo de um período de tempo igual ao da medição, que inclui a mesma energia acústica e consequentemente a mesma capacidade de provocar danos à audição humana. Este critério é essencial para situações em que o ruído é variável e imprevisível, permitindo desta forma a comparação do valor obtido com os limites obrigatórios pela lei.

A escala A permite medições de acordo com a sensibilidade do ouvido humano, sendo a mais adequada para a avaliação da deterioração da audição e determinação dos índices subjetivos de incómodo e perturbação auditiva (Nunes, 2006).

1.5. Exposição pessoal diária e Nível de pressão sonora de pico

O efeito nocivo do ruído no ouvido humano depende da quantidade de energia acústica absorvida, estando por isso dependente do nível de pressão sonora e da duração da exposição ao ruído. Durante a sua atividade de trabalho, o trabalhador pode estar sujeito a diferentes níveis de pressão sonora por

períodos de tempo variáveis. Assim sendo, torna-se necessária a análise dos efeitos nocivos do ruído, tendo como referência um dia de trabalho de 8 horas.

Tal como definido no Decreto-Lei nº 182/2006, de 6 de Setembro, a Exposição pessoal diária ao ruído ($L_{EX,8h}$) é o nível sonoro contínuo equivalente, ponderado A, calculado para um período normal de trabalho diário de 8 horas, que abrange todos os ruídos presentes no local de trabalho, incluindo o ruído impulsivo, expresso em dB(A).

Para além da consciência das definições anteriores, há que ter uma cultura de segurança a nível profissional relativamente ao ruído. As exposições de curta ou longa durações a pressões sonoras elevadas podem originar lesões auditivas graves no Homem. Estas podem ser refletidas em perdas temporárias ou permanentes da audição. A perda temporária da audição pode ter uma recuperação progressiva, a partir do momento em que ocorre a surdez. Por outro lado, a perda permanente da audição é uma consequência grave da exposição ao ruído, decorrente de um processo continuado de exposição a níveis elevados e com durações mais ou menos longas.

É importante então que seja executado um conjunto de medidas para que, sempre que sejam atingidos ou ultrapassados valores de referência, possa garantir-se a segurança e a saúde dos trabalhadores.

O Nível de pressão sonora de pico (L_{Cpico}) é o valor máximo da pressão sonora instantânea, com ponderação em C, a que o trabalhador está exposto e é expresso em decibéis C, dB(C).

1.6. Legislação em vigor

A exposição ao ruído laboral encontra-se regulamentada pelo Decreto-Lei nº 182/2006, de 6 de Setembro, que transpõe para a ordem jurídica interna a Diretiva nº 2003/10/CE do Parlamento Europeu e do Conselho, de 6 de Fevereiro, relativamente às prescrições mínimas de segurança e saúde em matéria de exposição dos trabalhadores aos riscos inerentes do ruído. Aplica-se a todas as atividades dos setores privados, cooperativos e social, da

administração pública central, regional e local, dos institutos públicos e das demais pessoas coletivas de direito público, bem como a trabalhadores por conta própria.

Com a entrada em vigor deste diploma, não é permitida a exposição pessoal diária ou semanal de trabalhadores a níveis de ruído iguais ou superiores a 87 dB(A) ou a valores de pico iguais ou superiores a 140 dB(C), sendo estes valores definidos como os valores limites de exposição (VLE). São também designados dois níveis distintos, os valores de ação inferiores e os valores de ação superiores (Tabela 1).

Tabela 1-Valores de limite de exposição e de ação superior e inferior para o nível de exposição diária ou semanal e para o nível de pressão sonora de pico

	L_{EX,8h}	L_{Cpico}
Valores Limite de exposição	87 dB (A)	140 dB (C)
Valores de Ação Superior	85 dB (A)	137 dB (C)
Valores de Ação Inferior	80 dB (A)	135 dB (C)

Os valores de ação superior e inferior são os níveis de exposição pessoal diária ou semanal ou os níveis de pressão sonora de pico, que, em caso de ultrapassagem, implicam a tomada de medidas preventivas adequadas à redução do risco para a segurança e saúde dos trabalhadores. Os valores limites de exposição são os níveis de exposição pessoal diária ou semanal ou o nível de pressão sonora de pico que não devem ser ultrapassados.

Nas atividades suscetíveis de apresentarem riscos de exposição ao ruído, o empregador deve avaliar e, se necessário medir os níveis de ruído a que os trabalhadores se encontram expostos. Assim a entidade patronal ao comparar os valores legislados com os valores obtidos através de aparelhos de medição, tem ao seu dispor toda a informação pertinente para decidir eliminar na fonte ou reduzir ao mínimo os riscos resultantes da exposição dos trabalhadores ao

ruído, de acordo com os princípios gerais de prevenção legalmente estabelecidos no Decreto-Lei nº 182/2006, de 6 de Setembro.

Caso os valores limite de exposição sejam ultrapassados, é obrigatória a tomada de medidas corretivas imediatas, bem como a identificação das respetivas causas para a prevenção de situações idênticas no futuro.

Em todas as situações em que não seja possível reduzir a exposição através da eliminação ou redução do ruído na origem, o empregador deve garantir a disponibilidade dos equipamentos de proteção individual auditiva. Além das obrigações gerais em matéria de segurança e saúde no trabalho, a entidade empregadora deve garantir uma adequada vigilância médica dos trabalhadores, com o objetivo de detetar precocemente eventuais perdas de audição ou redução da capacidade auditiva.

1.7. Medição do ruído

As medições do ruído são um aspeto de relevância, pois se não forem efetuadas torna-se impossível decidir objetivamente qual o modo mais adequado para limitar o ruído e como avaliar a eficiência das ações implementadas. Por outro lado, se forem efetuadas de forma inadequada, podem levar à tomada de decisões também inadequadas, pondo em risco a segurança e saúde dos trabalhadores.

Assim sendo, Miguel (2014) enumera várias razões para se proceder à monitorização do ruído, sendo importantes para:

- Determinar se os níveis sonoros são suscetíveis de provocar danos auditivos ou deterioração do ambiente envolvente;
- Determinar a radiação sonora do equipamento de trabalho;
- Obter dados de diagnóstico;
- Obter planos de redução de ruído.

Para a realização das medições referentes à exposição dos trabalhadores ao ruído, as metodologias e os equipamentos de medição usados deverão

encontrar-se ajustados às especificidades das condições laborais a rastrear, tais como as características do ruído a medir, a duração da exposição ao ruído e aos fatores ambientais. Neste sentido, aquelas metodologias e equipamentos de medição deverão permitir a determinação dos parâmetros e a verificação de ultrapassagem, ou não, dos valores de exposição legalmente fixados, tal como Freitas referência (2016).

Para se proceder a uma medição fidedigna, esta deverá ser desenvolvida de acordo com os procedimentos legislativos, permitindo desta forma a determinação da exposição pessoal diária, bem como a determinação do nível de pressão sonora de pico (Decreto-Lei, nº182/2006; Europeia, 2009).

De acordo com o Decreto-Lei nº182/2006, de 6 de Setembro, o tempo de medição deve ser escolhido de modo a medir e a englobar todas as variações importantes dos níveis sonoros nos postos de trabalho e de modo que os resultados obtidos evidenciem repetibilidade.

É igualmente necessário que os instrumentos de medição do ruído sejam sujeitos, no local, a uma verificação, antes e depois de cada medição, ou série de medições, com um calibrador acústico.

Para se proceder à avaliação dos níveis de ruído a que os trabalhadores estão expostos deve-se utilizar um de dois instrumentos: o sonómetro ou dosímetro.

1.7.1. Sonómetros e Dosímetros

Os sonómetros são equipamentos mais sensíveis ao ruído, de elevada complexidade de uso e utilizados para investigação ou aprofundamento dos estudos acústicos com baixas incertezas associadas. Segundo Patrício (2013), alguns sonómetros são capazes de determinar o nível de pressão sonora por banda de frequência.

Com a monitorização dos níveis sonoros pelos sonómetros, consegue-se uma medição objetiva e reproduzível do nível de som. Através destes aparelhos, mede-se o nível de pressão acústica num determinado local e momento, e dispõem de uma rede de curvas de ponderação (A, B, C e D), sujeitas a

normas técnicas específicas (Freitas, 2016), Sendo a curva A, a que melhor responde às características auditivas humanas.

Segundo Miguel (2014), existe uma grande variedade de sonómetros, desde os que dão apenas valores aproximados de níveis sonoros, passando por sonómetros com filtros de ponderação A, B, C e D, respostas a impulsos e até sonómetros que indicam o nível sonoro contínuo equivalente. O sonómetro pode também possuir um analisador de frequências (filtro de oitavas ou de terços de oitava), se se pretender efetuar uma determinação do espectro de ruído.

Os sonómetros podem ser classificados em quatro classes (Miguel, 2014):

- Os sonómetros de classe 0 são usados como uma referência de laboratório;
- Os sonómetros de classe 1 são geralmente utilizados em laboratório e para uso geral, quando o ambiente acústico puder ser controlado de maneira precisa, e em medições de campo com elevada precisão;
- Os sonómetros de classe 2 são utilizados para aplicações mais gerais, porém são usualmente usados para medições de campo sem elevada precisão;
- Os sonómetros de classe 3 utilizam-se para ações de fiscalização ou para medições aproximadas.

Nas medições de ruído é necessário escolher a constante do tempo devido às características do ruído e das flutuações deste ao longo do tempo. Os aparelhos de monitorização apresentam sempre um certo atraso na resposta, o que não permite acompanhar as rápidas variações do ruído (Dias, 2007).

As constantes de tempo incluem:

- Lento (*slow*), permite a medição com elevado amortecimento e um tempo de integração de, aproximadamente um segundo;
- Rápido (*fast*), apresenta um amortecimento pequeno e um tempo de integração de 125 milésimos de segundo;

- Impulso (*impulse*), com um tempo de subida muito rápido e um tempo de descida amortecido 35 milésimos de segundo;
- Retenção pico (*peak*), com um tempo de subida muito rápido e sem tempo de descida definido.

Para além dos sonómetros, também podem efetuar-se medições de ruído com dosímetros.

De acordo com Patrício (2013), os dosímetros são aparelhos robustos, de fácil utilização e com uma alta mobilidade, ou seja, são leves e pequenos. E comparativamente aos sonómetros são de baixo custo.

Smalt, Lacirignola, Davis, Calamia e Collins (2017) referem que o dosímetro é um dispositivo de medição do ruído a que um indivíduo se encontra exposto, relatando desta forma a dose de ruído acumulada ao longo de um período de tempo.

Os dosímetros são equipamentos que determinam a dose de ruído a que o trabalhador está exposto durante uma jornada de trabalho, em percentagem. O valor de 100% de dose equivale ao limite máximo de exposição 87 dB(A), para 8 horas de exposição. A dose é influenciada pelo nível sonoro contínuo equivalente e pela duração da exposição.

Por outras palavras podemos afirmar que os dosímetros têm uma funcionalidade distinta dos sonómetros, sendo usados para simplificar a medição, quando por exemplo há necessidade de mobilidade por parte do trabalhador.

1.7.2. Requisitos do equipamento de medição

Os aparelhos de medição do ruído devem ser calibrados, homologados e certificados, de modo a garantir a respetiva qualidade e desempenho.

Em termos globais, os instrumentos de medição devem respeitar o Decreto-Lei nº291/90, de 20 de Setembro. Adicionalmente, os sonómetros devem estar em

conformidade com a Portaria nº 977/2009, de 1 de Setembro, e com o Decreto-Lei nº182/2006, de 6 de Setembro.

De acordo com Decreto-Lei nº 182/2006, de 6 de Setembro, o instrumento de medição de ruído deve:

- Dispor das características temporais necessárias, em função do tipo de ruído a medir, e das ponderações em frequência A e C e cumprir, no mínimo, os requisitos equivalentes aos da classe de exatidão 2, de acordo com a normalização internacional, sendo preferível a utilização de sonómetros da classe 1, para maior exatidão das medições;
- Deve ser evitada a utilização de sonómetros não integradores para a determinação da exposição pessoal do trabalhador quando a pressão sonora apresenta flutuações do nível sonoro, do nível de pressão sonora ponderado em A, de grande amplitude ou para períodos de exposição irregulares do trabalhador;
- Em caso de dúvida de ultrapassagem dos valores limite, as medições devem ser confirmadas com a utilização de sonómetros integradores;
- Os dosímetros de ruído para a medição da exposição pessoal diária de cada trabalhador podem ser utilizados desde que: a) Estejam calibrados segundo o critério ISO, isto é, de forma que, ao duplicar a energia sonora recebida, $L_{EX,8h}$ aumenta 3 dB (A); b) Permitam determinar o L_{Aeq,T_e} , ou o $L_{EX,8h}$, e o L_{Cpico} .

Segundo o Decreto-Lei nº 291/90, de 20 de Setembro, e a Portaria nº 977/2009, de 1 de Setembro, os aparelhos de medição devem ser calibrados anualmente por um Organismo acreditado pelo Instituto Português de Acreditação (IPAC). Tanto os instrumentos de medição, como os calibradores, devem ser sujeitos a procedimentos de verificação periódica e de calibração conforme a norma NP EN ISO 9612:2011.

Os laboratórios acreditados pelo IPAC são obrigados a calibrar os instrumentos de medição de forma a demonstrarem a rastreabilidade metrológica e cumprirem a legislação. Após a calibração é emitido um documento que

confirma a calibração do aparelho. Segundo Branco (2010), esta rastreabilidade metrológica permite garantir a exatidão das medições realizadas, assegurando a sua comparabilidade e rastreabilidade, a nível nacional e internacional, e a realização, manutenção e desenvolvimento dos padrões de medida.

Quanto à certificação dos equipamentos de medição, deverá ser homologada pelo Instituto Português da Qualidade (IPQ). De acordo com o Decreto-Lei nº 140/2004, de 8 de Junho, a certificação é entendida como sendo o procedimento através do qual uma terceira parte acreditada dá uma garantia escrita de que um produto, processo, serviço ou sistema está em conformidade com requisitos especificados.

Segundo o Decreto lei n.º 192/2006, de 26 de Setembro, cada equipamento de medição deve cumprir os requisitos essenciais definidos neste diploma. A conformidade destes equipamentos deve ser evidenciada mediante a presença no mesmo, da marcação CE e da marcação metrológica suplementar.

O fabricante do aparelho deve, sempre que necessário, fornecer a documentação técnica específica para os instrumentos ou grupo de instrumentos de forma a tornar inteligíveis a concepção, o fabrico e o funcionamento do instrumento de medição e permitir avaliar a sua conformidade. Desta forma, a documentação deve assegurar:

- A definição das características metrológicas;
- A reprodutibilidade do comportamento metrológico dos instrumentos fabricados, sempre que estejam adequadamente ajustados, utilizando os meios previstos para o efeito;
- A integridade do instrumento;
- A descrição geral do instrumento;
- As peças desenhadas relativas à concepção, projecto e fabrico de componentes, subconjuntos, circuitos e outros;

- A descrição dos processos de fabrico destinados a garantir uma produção consistente;
- Se aplicável, a descrição dos dispositivos eletrónicos, incluindo desenhos, diagramas, fluxogramas da lógica e informações gerais sobre o *software* que expliquem as suas características e o modo de funcionamento;
- As descrições e explicações necessárias à compreensão da documentação a que se referem as peças desenhadas relativas à concepção, projeto e fabrico de componentes, subconjuntos e circuitos; à descrição dos processos de fabrico e à descrição dos dispositivos eletrónicos;
- Uma listagem das normas ou documentos normativos;
- Descrição das soluções adotadas para cumprir os requisitos essenciais sempre que não tenham sido aplicadas as normas e ou os documentos normativos;
- Os resultados dos cálculos do projeto e dos controlos efetuados e outros;
- Os resultados dos ensaios adequados, sempre que necessário, para demonstrar que o tipo e ou instrumento está em conformidade com os requisitos essenciais nas condições estipuladas de funcionamento e sob perturbações ambientais e as especificações de durabilidade;
- Os certificados de exame CE.

O fabricante deve também especificar os locais de aplicação dos selos e marcações. E se necessário, as condições de compatibilidade com interfaces e subconjuntos.

Segundo o Decreto-Lei nº 192/2006, de 26 de Setembro, os equipamentos de medição deverão possuir os seguintes requisitos:

- Reprodutibilidade – a aplicação da mesma grandeza mensurada num local diferente ou por um utilizador diferente, mantendo-se constantes as restantes condições, deve originar uma estreita concordância entre os resultados das medições sucessivas. A diferença entre os resultados das

medições deve ser pequena quando comparada com o valor do erro máximo admissível;

- Repetibilidade – A aplicação da mesma grandeza mensuranda nas mesmas condições de medição deve originar uma aproximação entre os resultados das medições sucessivas. A diferença entre os resultados das medições deve ser pequena quando comparada com o valor do erro máximo admissível;
- Discriminação e sensibilidade – O instrumento de medição deve ser suficientemente sensível e o limiar de mobilidade deve ser suficientemente baixo para a medição planeada;
- Estabilidade – O instrumento de medição deve ser projetado para conservar uma estabilidade adequada das suas características metrológicas ao longo de um período estimado pelo fabricante, desde que corretamente instalado, mantido e utilizado, em conformidade com as instruções do fabricante, nas condições ambientais para as quais foi concebido;
- Fiabilidade – O instrumento de medição deve ser projetado para reduzir, na medida do possível, o efeito de qualquer deficiência que possa causar resultados de medição inexatos, a menos que a presença dessa deficiência seja evidente.

De acordo com Anacleto (2013), ao manipularmos os aparelhos de medição estamos sujeitos a diversos erros, podendo os mesmos serem descritos por: erros aleatórios, que influenciam a precisão da medição, erros sistemáticos, que influenciam a exatidão da medição e erros grosseiros, que são definidos como maus pontos experimentais.

Desta forma, torna-se conveniente a distinção dos termos de exatidão e de precisão (Anacleto; 2013):

- Exatidão é a diferença entre o valor encontrado na medição e o verdadeiro valor da grandeza medida;

- Precisão é a proximidade entre os diversos valores encontrados em medições repetidas da mesma grandeza.

Para se conseguir reduzir os erros aleatórios seria necessário conceber experiências tão aperfeiçoadas, de forma que a origem dos erros aleatórios se aproximassem do limite do ruído fundamental do instrumento. Após o alcance deste nível, uma melhoria da medição implicaria um novo instrumento ou um novo método experimental.

Quanto aos erros sistemáticos, são os que causam um desvio do valor medido relativamente ao valor teórico, aceite ou previsto. Quanto menor o desvio, mais exata será a medição. Assim ao contrário dos erros aleatórios, não existem técnicas estatísticas para quantificar os erros sistemáticos, porém estes podem ser reduzidos através da implementação de outras medições capazes de dar informação sobre a origem de discrepâncias sistemáticas. E claro, também podem ser reduzidos com a calibração do instrumento de medição.

Na avaliação dos resultados obtidos é fundamental a contabilização da incerteza associada à medição, incerteza esta determinada pela prática metrológica, em harmonia com a normalização em vigor (Freitas, 2016).

1.8. *Smartphones e Tablets*

De acordo com a Associação Portuguesa para o Desenvolvimento das Comunicações (APDC, 2017), a utilização de *smartphones*, *tablets* e computadores está a crescer. Em 2012, 52% dos portugueses usavam apenas um destes dispositivos, 15% usavam dois e 3% os três dispositivos. Cinco anos depois, 23% usam os três dispositivos. Mundialmente de acordo com Matarazzo, Vazifeh, Pakzad, Santi e Ratti (2017), existem mais de 2 biliões de utilizadores de *smartphones*.

Relativamente aos *tablets*, ainda não há referências que caracterizam a sua utilização, mas sabe-se que são igualmente utilizados por um número significativo de pessoas, essencialmente graças às dimensões do seu ecrã de visualização.

Conforme o estudo feito por Forrester (2019), o número de *smartphones* irá chegar aos 3,9 bilhões em 2023. Enquanto que a venda de *tablets* irá descer devido ao aparecimento de *smartphones* com grandes ecrãs de visualização.

Os *smartphones* e os *tablets* são poderosas máquinas de computação com sensores internos tais como: microfones, cameras, GPS e acelerómetros de acordo com Kardous e Shaw (2014). Tal como os equipamentos de medição do ruído, são *hardwares* complexos capazes de utilizar inúmeras aplicações de medição sonora, usando um microfone, interno ou externo, sendo estes últimos considerados mais adequados para este fim.

Matarazzo et al. (2017) identificaram que dada a natureza competitiva do mercado, a variedade e a precisão dos sensores destes dispositivos móveis tendem a melhorar consideravelmente à medida que são produzidos novos modelos de *smartphones* ou *tablets*.

A capacidade dos trabalhadores poderem, através dos *smartphones* ou dos *tablets*, fazer medições do nível de ruído a que estão expostos durante o período de trabalho permite-lhes ter consciência dos perigos a que estão sujeitos (Kardous & Shaw, 2014).

Porém, é de realçar que os resultados das medições efetuadas com estes dispositivos podem ser influenciados pela temperatura, pela humidade, pela idade do equipamento, pela estabilidade geral do microfone e pelos componentes eletrónicos do mesmo, de acordo com Honeycutt (2015).

Smalt, Lacirignola, Davis, Calamia e Collins (2017) afirmam que para efetuar-se a monitorização com os *smartphones* ou os *tablets* num futuro próximo, seria necessário implementar sistemas de medição complexos através de:

- *Smartphones/Tablets* orientados para as medições;
- Métodos de calibração das aplicações;
- Existência de mais sensores e de interfaces de utilização simples;
- Baterias com capacidade suficiente para dar resposta ao armazenamento das medições.

A medição através destes dispositivos fez com que o uso de *smartphones/tablets* sejam uma solução preliminar importante para uma avaliação do ruído ocupacional. O facto de haver um enorme número de aplicações para a medição do ruído, conduziu à partilha de dados entre a comunidade, permitindo assim uma reflexão sobre os mesmos. Tendo em conta que a maioria da população mundial possui pelo menos um *smartphone* ligado à *Internet*, após a instalação de uma aplicação (*App*) de monitorização e sua utilização, poderá conseguir-se de forma simples e sem grandes custos monetários a partilha de dados.

As aplicações de monitorização têm aumentado a capacidade de filtrar e amplificar o ruído, tentando garantir leituras precisas do ruído sem a necessidade do uso de acessórios externos.

Johnson, Saxena, Williams, Bangole, Hasan, et al. (2015) referem que a medição sonora através de aplicações tem uma percentagem de erro até 10%, em comparação com um sonómetro ou um dosímetro.

No entanto, Roberts, Kardous e Neitzel (2017) enunciaram as seguintes razões, para não se utilizarem estes dispositivos para a medição do ruído:

- Nem sempre é fácil ou possível calibrar os dispositivos ou o seu microfone, podendo levar a erros sistemáticos;
- Devido ao seu tamanho e fragilidade;
- Devido ao seu período de vida.

Num futuro próximo, a avaliação do ruído irá provavelmente estar intimamente ligada à evolução dos *smartphones* e de outras formas de tecnologia móveis inovadoras e acessíveis aos cidadãos (Kardous & Shaw, 2014).

1.9. Aplicações

Os *smartphones* e os *tablets* possuem programas de computação designados por aplicações (*Apps*). Um grande número de aplicações têm sido usadas profissionalmente ao nível da Segurança e Saúde no Trabalho, mas de acordo

com Roberts et al. (2017), não apresentam resultados tão conclusivos como os obtidos com equipamentos de medição tradicionais. Kardous e Shaw (2014) duvidam que os *smartphones* ou os *tablets* substituam os dispositivos de medição do ruído, contudo têm elevado potencial para ser usados como uma ferramenta de custo reduzido.

Algumas aplicações apresentam a capacidade de gravar os valores de medições anteriores, capacidade que só é possível em alguns instrumentos de medição profissionais. De acordo com Méndez, Vílchez e Rubio (2016), um grande número de aplicações poderão ser úteis para os profissionais, fornecendo uma capacidade nomeadamente no registo durante a realização de auditorias de Segurança e Saúde no Trabalho e, inclusivamente, na monitorização do ruído a que os trabalhadores estão expostos.

As aplicações são adicionadas, removidas e até atualizadas regularmente nas lojas *online*, o que revela uma preocupação em melhorar o seu desempenho (Kardous & Shaw, 2014). As vantagens que advêm da sua utilização são (Roberts et al., 2017):

- Facilidade de manipulação para os iniciantes nas medições;
- O seu baixo custo relativamente aos dispositivos de medição profissionais.

As aplicações, na generalidade, não são suficientemente precisas e confiáveis fazendo com que o processo de calibração do microfone dos *smartphones* e dos *tablets* também não seja totalmente eficaz (Kardous & Shaw, 2014). Algumas aplicações têm propriedades inerentes para se calibrar automaticamente, contudo a sua eficácia não é infalível segundo Roberts e seus colaboradores (2017).

Existem aplicações que funcionam corretamente em Sistema Operativo *iOS*, mas em Sistema Operativo *Android* tornam-se inoperacionais para a mesma funcionalidade (Roberts et al., 2017). As aplicações *Android* não têm características e funcionalidades semelhantes às aplicações *iOS* (Kardous & Shaw, 2014).

Cerca de 85% dos aparelhos em todo o Mundo funcionam com o Sistema Operativo *Android*, enquanto o *iOS* é utilizado por cerca de 14,7%. Estes dois sistemas operativos são as principais plataformas móveis mundiais segundo Celestina, Hrovat e Kardous (2018). Apesar da plataforma *Android* dominar o mercado, a *iOS* continua a ser a plataforma preferida para aplicações que efetuam medições de som e de áudio (Celestina et al, 2018).

Da pesquisa bibliográfica realizada, constatou-se que outros estudos foram efetuados com algumas aplicações.

De acordo com Pereira (2013) a aplicação *Noise Meter*, desenvolvida por Jinasys, não associa qualquer posicionamento espacial aos níveis sonoros medidos. Porém, neste estudo esta aplicação consegue dar resposta quer aos requisitos da investigação, nomeadamente à obtenção do nível sonoro contínuo equivalente e à capacidade de calibração.

Kardous e Shaw (2014) afirmam que os resultados obtidos com equipamentos que têm o *Android* como sistema operativo apresentam uma alta variação. A maior variabilidade dos resultados registada com equipamentos *iOS* deveu-se ao facto dos fornecedores dos microfones terem mudado desde que se iniciou o fabrico dos modelos *iPhone 5* e *iPAD 4* (Kardous & Shaw, 2014).

Até à data, os estudos desenvolvidos no âmbito da medição do ruído com este tipo de dispositivos móveis foram variados. Resumidamente fazemos referência alguns desses estudos:

- A utilização de *smartphones* na monitorização do ruído, (Pereira, 2013);
- A elaboração de mapas de ruído de cidades, através de aplicações medidoras de ruído de acordo com (Leao, Ong e Krezel, 2014);
- A evolução das aplicações medidoras de ruído (Kardous & Shaw, 2014);
- A evolução das aplicações para *smartphones* como uma possível ferramenta para a medição do ruído (Ibekwe, Folorunsho, Dahilo, Gbujie, Nwegbu et al., 2016);

- Testes de precisão elaborados em aplicações que medem o ruído ambiental (Murphy & King, 2016).

Desta forma, pareceu-nos importante realizar-se este estudo sobre o desempenho de aplicações gratuitas para medição de ruído com *smartphones* e *tablets*, centrado no sistemas operativos *Android* e *iOS*, de modo a aumentar o conhecimento sobre a potencialidade dos mesmos para serem utilizados em substituição de sonómetros e dosímetros.

2. METODOLOGIA

Este trabalho consistiu num estudo laboratorial e experimental com o objetivo de testar a capacidade de medição do ruído de *smartphones* e *tablets*.

2.1. Amostras

Os *smartphones* e os *tablets* utilizados foram emprestados por colegas, docentes e familiares da autora. É de salientar que houve equipamentos que tiveram que ser rejeitados neste estudo, pelo facto de terem versões instaladas do sistema operativo incompatíveis com as aplicações testadas.

Neste estudo foram analisados 11 *smartphones* e 5 *tablets*. Dos 11 *smartphones*, 2 eram do Sistema Operativo *iOS* e 9 do Sistema Operativo *Android*. Relativamente aos 5 *tablets*, 1 era do Sistema Operativo *iOS* e 4 eram do Sistema Operativo *Android*.

Nas tabelas 2 e 3 encontram-se caracterizados os equipamentos utilizados neste estudo.

Tabela 2-Identificação dos smartphones usados nas medições

MARCAS	MODELOS	SISTEMA OPERATIVO
Alcatel	Star Pop	Android
Huawei	GR3	Android
Huawei	P9 Lite	Android
Huawei	P10 Lite	Android
LG	E610	Android
Samsung	Galaxy J3	Android
Samsung	GT-19082	Android
Samsung	SM-T560	Android
Samsung	GT-19301L	Android
Apple	iPhone SE	iOS
Apple	iPhone 7	iOS

Tabela 3-Identificação dos tablets usados nas medições

MARCAS	MODELOS	SISTEMA OPERATIVO
Huawei	MediaPad M3 Lite 10	Android
Acer	Iconia B1-830	Android
Asus	ZenPad C 7.0	Android
Asus	K010	Android
Apple	iPad 9.4''	iOS

Seguidamente encontram-se descritas as aplicações utilizadas. Foram usadas 2 aplicações para o Sistema Operativo *Android* e 3 aplicações para o Sistema Operativo *iOS*. Apenas foram considerados estes dois sistemas operativos devido à reduzida percentagem de utilização mundial de outros sistemas operativos, tais como o Windows.

Pretendia-se incluir no estudo apenas aplicações:

- Com possibilidade de serem calibradas;
- Permitissem obter os valores de L_{Aeq} e/ou L_{Cpico} ;
- Gratuitas.

Depois da identificação das aplicações já analisadas em estudos anteriores, fez-se uma pesquisa nas lojas *online*, isto é, na *Play Store* e no *Google Play*.

O requisito da medição do L_{Cpico} apenas foi cumprido com a utilização da aplicação NIOSH.

Openoise versão 2.0.3

Criada por Arpa Piemonte (Agência Regional para a Proteção do Meio Ambiente de Piemonte), a *Openoise* é uma aplicação gratuita. Esta mede o nível de ruído independentemente do local e do tempo de medição. Fornece ao utilizador a capacidade de correção através do filtro de ponderação A, facultando também a cada medição os valores máximos e mínimos. Outra

propriedade muito importante para este estudo é a capacidade de calibração da própria aplicação. Segundo o autor, esta *App* não é destinada para uso profissional, visto que não garante uma medição precisa do ruído. A resposta desta aplicação depende da natureza do equipamento, sendo os seus resultados distintos daqueles obtidos através de um sonómetro. Esta necessita como requisito mínimo a versão 5.0 do Sistema Operativo *Android*. Assim sendo, esta *App* é compatível com os requisitos do estudo, visto que fornece o L_{Aeq} e a capacidade de calibração. Com a *Openoise* não é possível obter o L_{Cpico} .

Noise Meter versão 3.8.7

A *Noise Meter* é uma aplicação gratuita desenvolvida por *Jinasys*. Esta foi concebida para a versão 2.1 do Sistema Operativo *Android*, não sendo compatível com outros sistemas operativos. Possui a capacidade de calibração. Executa medições dos níveis sonoros em decibéis com a possibilidade de utilização do filtro de ponderação A. Esta aplicação, ao contrário da anterior, possui a capacidade de modificação do número de amostras registadas por segundo, assim como o período máximo de medição, ou seja, mede até 15 minutos. Outra capacidade essencial da aplicação é de apresentar os níveis sonoros máximo, médio, mínimo e o nível sonoro equivalente ponderado A. Possui duas janelas de visualização: uma que exhibe os dados em formato numérico e a outra que, de modo isolado ou de forma complementar com o histórico das medições, apresenta os resultados em formato de gráficos. Esta aplicação é compatível com os requisitos do estudo referentes à obtenção do L_{Aeq} e à capacidade de calibração. Tal como na *Openoise*, a *Noise Meter* também não permite obter o L_{Cpico} . A *Noise Meter* não permite gravar os resultados das medições.

SLA Lite (Sound Level Analyzer Lite) versão 4.0

A *SLA Lite* é uma aplicação gratuita desenvolvida pela *Toon*. Necessita como requisito a versão 12.1 do Sistema Operativo *iOS*. Permite a medição do ruído ambiental e ocupacional em qualquer local, fornecendo aos utilizadores o L_{Aeq} e os valores máximos, mínimos e a média. Tem a propriedade de correção das medições através de filtros de ponderação em A, C e Z. Cede também ao utilizador a capacidade de calibração da aplicação. Uma desvantagem desta aplicação é que as medições estão limitadas a um tempo de 20 segundos. Assim sendo esta *App* é compatível com os requisitos deste estudo.

NIOSH Sound Level Meter versão 1.0.10

Criada por *Ea Lab*, esta aplicação é gratuita. A *NIOSH Sound Level Meter* permite obter o L_{Aeq} , os valores mínimos, máximos e a média das medições de acordo com os padrões da *National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH)* e da *Occupational Safety and Health Administration (OSHA)*. Tem também a possibilidade de utilização dos filtros de ponderação A, C e Z. Fornece ao utilizador informação, de quais são os protetores auditivos ideais para aquele tipo de ruído e quais as diretrizes a seguir para evitar a perda auditiva. Necessita como requisito mínimo a versão 10.0 do Sistema Operativo *iOS*. Assim sendo, esta aplicação permite a sua calibração e obter os valores referente aos L_{Aeq} . A *NIOSH* permite que se obtenha os valores referentes ao L_{Cpico} . Permite também guardar os resultados das medições.

Meter (Decibelímetro Pro) versão 1.3

Desenvolvida por *Vlad Polyahskiy*, a *Meter* é uma aplicação gratuita. Permite fazer medições semelhantes aos aparelhos de medição profissionais. Garantindo assim a medição do nível de ruído em diferentes ambientes segundo o criador. A *Meter* permite a sua calibração por parte do utilizador. Permite também guardar as medições bem como partilha-las com outras pessoas. Tem a funcionalidade de incorporação de filtros de ponderação às

medições. Cede os valores mínimos e máximos alcançados durante as medições, permitindo também ao utilizador a visualização das medições em gráficos. Esta *App* corresponde aos requisitos deste estudo, fornecendo o L_{Aeq} e a capacidade de calibração. Não possui a capacidade de guardar os dados das medições. Não permite obter os valores de L_{Cpico} .

Na tabela 4, encontra-se resumidamente delineadas as principais funcionalidades que as aplicações estudadas oferecem.

Tabela 4-Esquema das funcionalidades das aplicações estudadas

Aplicações/ Funcionalidades	Openoise	Noise Meter	SLA Lite	NIOSH	Meter
Gratuita	X	X	X	X	X
Obtenção dos valores máximos e mínimos das medições	X	X	X	X	X
Obtenção dos valores médios das medições		X	X	X	
Capacidade de calibração	X	X	X	X	X
Gravação das medições		X		X	X
Obtenção do L_{Aeq}	X	X	X	X	X
Obtenção do L_{Cpico}				X	
Versão do Sistema Operativo requerida	5.0	2.1	12.1	10.1	-
Sistema Operativo	Android	Android	iOS	iOS	iOS

2.2. Equipamentos

Utilizou-se um Sonómetro digital, de classe 1, da *Brüel & Kjær*, modelo 2260 Investigator. O equipamento estava calibrado há menos de um ano, de acordo com a Portaria nº 977/2009, de 1 de Setembro e o Decreto Lei nº 182/2006 de 6 de Setembro.

O sonómetro foi submetido à verificação, no local, antes de cada série de medições, conforme o disposto nº 2 do Anexo 1 do Decreto Lei nº 182/2006 de 06/09, recorrendo a um calibrador da *Brüel & Kjær*, modelo 4231.

Foram também usados um computador portátil *Acer*, modelo TSN8IDN, e uma coluna de som Primax 3D System.

2.3. Condições e procedimentos experimentais

Todos os ensaios foram realizados no Laboratório de Ergonomia da Faculdade de Motricidade Humana da Universidade de Lisboa.

Mediu-se o nível do ruído de fundo do Laboratório antes de se iniciarem os testes, por forma a garantir que era significativamente menor (diferença superior a 20 dB) do que os ruídos simulados e que não ocorreria qualquer interferência nos níveis sonoros medidos pelo sonómetro e pelos *smartphones* e *tablets*.

A recolha dos dados no laboratório teve início em Dezembro de 2019. A recolha de dados foi feita durante 2 meses. Na tabela 5 encontra-se o planeamento das medições.

Os objetivos e os procedimentos dos testes foram explicados aos proprietários dos dispositivos móveis, os quais, uma vez esclarecidos, consentiram que os mesmos fossem utilizados e instaladas as aplicações necessárias.

Os ensaios laboratoriais tinham início com a instalação das aplicações previamente seleccionadas nos *smartphones* e *tablets*.

Tabela 5-Calendarização dos testes efetuados

Data da medição	Equipamentos medidos
14 de Dezembro de 2018	Tablet iPad 9.4''; Smartphone iPhone SE; Smartphone iPhone 7.
4 de Janeiro de 2019	Smartphone Huawei GR3; Tablet Acer Iconia B1-830.
10 de Janeiro de 2019	Smartphone Alcatel Star Pop; Tablet Huawei MediaPad M3 Lite 10; Smartphone Huawei P9 Lite.
25 de Janeiro de 2019	Smartphone LG-E610; Smartphone Samsung Galaxy J3; Tablet Asus ZenPad C 7.0; Smartphone P10 Lite.
22 de Fevereiro de 2019	Smartphone Samsung GT-19082; Smartphone Samsung SM-T560; Tablet Asus K010; Smartphone Samsung GT-19301L

O sonómetro foi fixo num tripé a uma altura do chão de 1,0 m e a uma distância de 0,5 m da coluna audio.

De seguida procedia-se à calibração das aplicações instaladas nos equipamentos a testar, com ruído rosa a 60 dB(A) - valor confirmado com recurso ao sonómetro.

Uma vez terminada a calibração, realizava-se a sequência de testes.

Utilizando ruído rosa, regulou-se o volume de modo a obter-se um nível sonoro contínuo equivalente de 60 dB(A) e mediram-se, simultaneamente, o L_{Aeq} e o L_{Cpico} , com o sonómetro e com o dispositivo móvel em análise, com ambas as aplicações instaladas previamente. Este procedimento foi repetido mais 6 vezes, para níveis sonoros contínuos equivalentes de 65, 70, 75, 80, 85 e 90 dB(A). A duração máxima de cada medição foi de 1 minuto, tendo-se terminado a mesma mais cedo, assim que o valor medido estabilizava - oscilações inferiores a 0,5 dB(A).

A finalizar, substituiu-se o ruído rosa por uma gravação de ruído industrial regulado para cerca de 85 dB(A) e repetiram-se as medições de L_{Aeq} e de L_{Cpico} ,

com o sonómetro e com o dispositivo móvel em análise, com cada uma das aplicações instaladas.

Os valores medidos foram registados em papel e, posteriormente, introduzidos no computador para tratamento e análise (Apêndice).

2.4. Tratamento de dados

O tratamento dos dados foi realizado com o *software Statistical Package for the Social Sciences* (SPSS).

Primeiramente criámos uma variável designada por diferença percentual do nível sonoro contínuo equivalente com ponderação A, D_{LAeq} , de acordo com a equação (1).

$$D_{LAeq} = ((L_{AeqA} - L_{AeqS}) / L_{AeqS}) \times 100 \quad (1)$$

Onde:

L_{AeqA} - Nível sonoro contínuo equivalente, com ponderação A, obtido pela aplicação;

L_{AeqS} - Nível sonoro contínuo equivalente, com ponderação A, obtido pelo sonómetro.

Posteriormente foi criada uma segunda variável designada por diferença percentual da pressão sonora de pico, D_{LCpico} , de acordo com a equação (2).

$$D_{LCpico} = ((L_{CpicoA} - L_{CpicoS}) / L_{CpicoS}) \times 100 \quad (2)$$

Onde:

L_{CpicoA} - Nível de pressão sonora de pico obtido pela aplicação;

L_{CpicoS} - Nível de pressão sonora de pico obtido pelo sonómetro.

Estas novas variáveis, variáveis dependentes do estudo, serviram para avaliar o desempenho dos *smartphones* e dos *tablets* e foram alvo de uma análise descritiva com recurso a medidas de tendência central, como a média e a mediana, e medidas de dispersão como o desvio padrão, o mínimo e o máximo.

Na interpretação dos valores obtidos, sinais negativos de D_{LAeq} e D_{LCpico} são sinónimos de subvalorização das medições pelos equipamentos, isto é, significam que os *smartphones* e os *tablets* registam níveis de ruído por defeito. O sinal positivo é indicativo de uma sobrevalorização das medições pelos dispositivos móveis, ou seja, estes registam valores por excesso.

Como variáveis independentes do nosso estudo definiram-se o sistema operativo (*Android versus iOS*), o tipo de equipamento (*smartphones versus tablets*), a aplicação, o tipo de ruído (ruído rosa *versus* ruído industrial) e o nível de ruído medido.

A comparação entre resultados, considerando as variáveis independentes do estudo, fez-se com o recurso a testes não paramétricos devido à dimensão da amostra.

Os testes de *Wilcoxon* e de *Friedman* foram utilizados para comparar o desempenho dos equipamentos e das aplicações diferentes, nas mesmas condições experimentais. Os testes de *Mann-Whitney* e de *Kruskal-Wallis* foram utilizados para comparar o desempenho dos mesmos equipamentos e das mesmas aplicações, em condições experimentais diferentes.

Em todos os testes realizados foi considerado um nível de significância de 0,05, ou seja, um nível de confiança de 95%.

3. APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Neste capítulo apresentamos e discutimos os resultados obtidos durante este estudo. Fizemos a organização dos resultados em secções, em função das variáveis independentes definidas na secção 2.4.

Conforme a tabela 6, foram efetuadas 280 combinações de medições para os dois Sistemas Operativos e para os 16 equipamentos estudados (11 *smartphones* e 5 *tablets*).

Tabela 6-Total das combinações das medições efetuadas

Sistema Operativo	Equipamentos	Aplicações	Níveis de ruído	Total de combinações
Android	9 smartphones	2 aplicações (Openoise e Noise Meter)	8 Níveis de ruído (7 níveis de ruído rosa e 1 nível de ruído industrial)	$9 \times 2 \times 8 = 144$
iOS	2 smartphones	3 aplicações (Lite, NIOSH e Meter)	8 Níveis de ruído (7 níveis de ruído rosa) (1 nível de ruído industrial)	$2 \times 3 \times 8 = 48$
Android	4 tablets	2 aplicações (Openoise e Noise Meter)	8 Níveis de ruído (7 níveis de ruído rosa) (1 nível de ruído industrial)	$4 \times 2 \times 8 = 64$
iOS	1 tablet	3 aplicações (Lite, NIOSH e Meter)	8 Níveis de ruído (7 níveis de ruído rosa) (1 nível de ruído industrial)	$1 \times 3 \times 8 = 24$
Total				280

3.1. Desempenho na medição do L_{Aeq} em função das aplicações

Nesta seção analisamos os resultados obtidos pelas diferenças dos níveis sonoros contínuos equivalente, com ponderação A, nas aplicações *Noise Meter*, *Openoise*, *NIOSH*, *Meter* e *Lite*.

De acordo com a figura 1, das cinco aplicações estudadas, a que apresentou um menor valor absoluto relativo à mediana foi a aplicação *Lite* (-0,06). Isto significa que a aplicação *Lite* apresentou uma maior exatidão, relativamente às outras aplicações, ou seja, registou os valores mais próximos dos registados

pelo sonómetro. Seguiram-se as aplicações *Openoise* (0,28), *Noise Meter* (-0,55), *NIOSH* (-1,48) e *Meter* (-2,06).

Relativamente à precisão, a aplicação que apresentou um melhor desempenho foi a *NIOSH* devido à reduzida amplitude de valores registados.

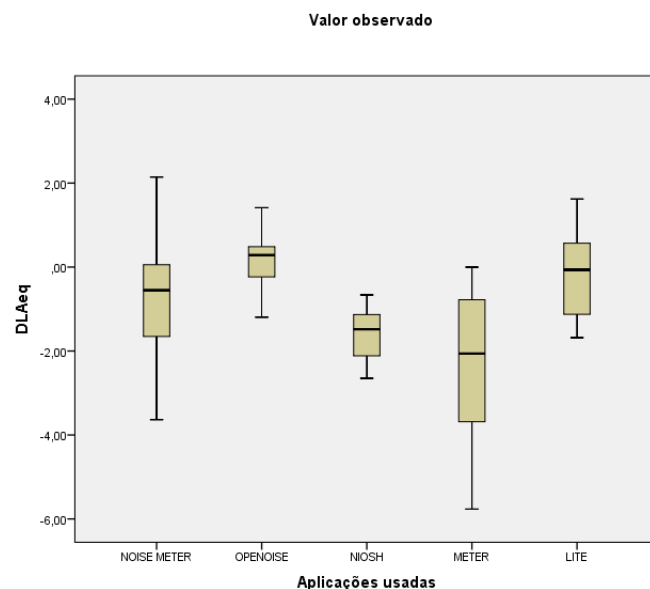


Figura 1- Variação do D_{LAeq} em função das aplicações usadas

Após comparação da 5 aplicações através do Teste de *Kruskal-Wallis*, é possível verificar que existem diferenças estatisticamente significativas ($p < 0,05$) na distribuição dos *ranks* dos valores das medianas das diferenças relativas entre os níveis sonoros contínuos equivalentes, com ponderação A.

Desta forma é necessário efetuar o Teste de comparações múltiplas de Mann-Whitney para sabermos em que pares se registaram essas diferenças significativas.

Da análise da Tabela 7, conclui-se que apenas não existem diferenças estatisticamente significativas ($p > 0,05$) entre a distribuição dos ranks dos resultados obtidos pelos seguintes pares de aplicações: *Noise Meter-Lite*, *Openoise-Lite* e *NIOSH-Meter*.

Tabela 7 – *P-values* resultantes da comparação do desempenho das 5 aplicações

	OPENOISE	NIOSH	METER	LITE
NOISE METER	0,001	0,001	0,001	0,122
OPENOISE		0,001	0,001	0,187
NIOSH			0,164	0,001
METER				0,001

De acordo com a Tabela 8, observa-se uma maior amplitude de valores com a *Noise Meter* do que com a *Openoise*, revelando assim menor precisão no desempenho. Com a aplicação *Openoise* verifica-se que existiu uma maior exatidão, ou seja, os valores obtidos com a *Openoise* aproximaram-se mais dos valores obtidos pelo sonómetro.

Tabela 8- Valores de D_{LAeq} nas aplicações *Android*

	N	Mediana	Desvio Padrão	Mínimo	Máximo
NOISE METER	72	-0,55	0,15	-3,63	2,14
OPENOISE	60	0,28	0,07	-1,20	1,41

Conforme a figura 2, obteve-se uma maior amplitude de valores com a aplicação *Meter*, revelando pior desempenho em termos de precisão. A menor dispersão de valores registou-se com a aplicação *NIOSH*.

Porém de acordo com os valores das medianas, a aplicação mais exata foi a aplicação *Lite*.

Das aplicações estudadas do Sistema Operativo *iOS*, a que revelou melhores resultados de exatidão foi a *Lite* (mediana=-0,06), enquanto a pior foi a *Meter* (mediana=-2,06).

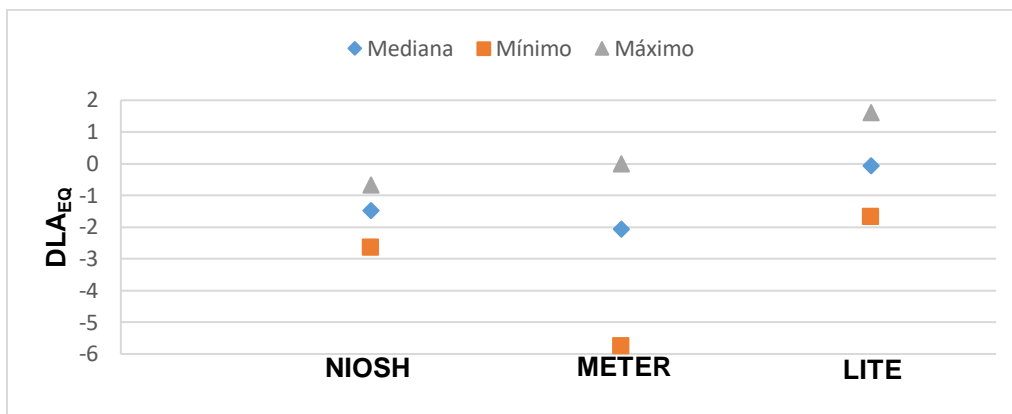


Figura 2- Variação do DLA_{eq} para as aplicações *iOS*.

Contudo estes resultados do *iOS* não são conclusivos devido à reduzida amostragem. Pois apenas se analisaram 3 equipamentos do Sistema Operativo *iOS* e 9 do Sistema Operativo *Android*.

Murphy e King (2016) estudaram os resultados obtidos com a aplicação SLA Lite e concluíram que o desvio padrão obtido tinha sido reduzido (1,41), destacando a consistência da aplicação em termos de precisão. No nosso estudo obtivemos um desvio padrão de 0,19 com a aplicação Lite, revelando assim uma maior precisão comparativamente ao estudo de Murphy e King.

Kardous e Shaw (2014) estudaram 4 smartphones do sistema operativo *Android* e obtiveram uma grande variação de resultados. Tal como nós neste estudo.

3.2. Desempenho na medição do L_{Aeq} em função do tipo de equipamentos

Nesta seção estudamos a distribuição dos resultados obtidos pelas diferenças dos níveis sonoros contínuos equivalentes, com ponderação A, nos dois tipos de equipamento: *smartphones* e *tablets* consoante o Sistema Operativo.

Assim sendo e de acordo com a figura 3, os valores das medianas relativas aos *smartphones* foi de -0,56, enquanto nos *tablets* foi de -0,28. Globalmente, os *tablets* aparentam ser ligeiramente mais exatos e mais precisos (menor amplitude de valores de D_{LAeq}) do que os *smartphones* nas medições do L_{Aeq} .

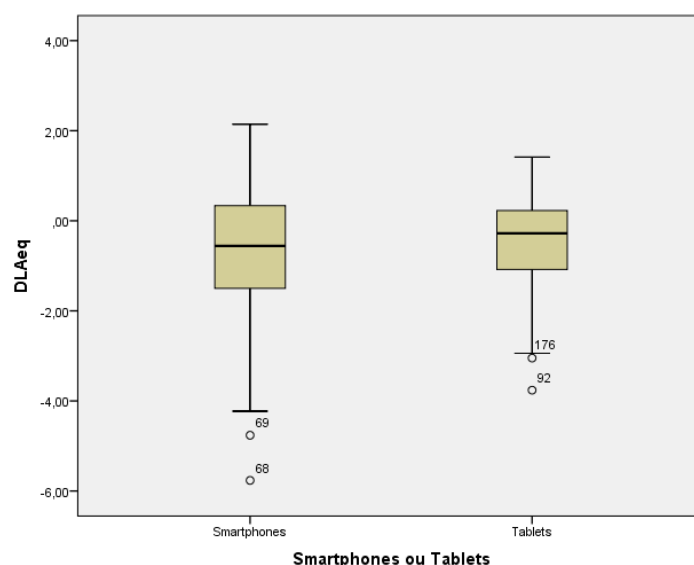


Figura 3 - Variação do D_{LAeq} nos dois tipos de equipamento

A partir da tabela 9, o mesmo pode ser verificado quando nos focamos apenas nos equipamentos/aplicações do sistema operativo *Android*: a mediana dos valores de D_{LAeq} obtidos para os *tablets* foi de 0,00, o que significa que apresentaram uma exatidão comparativa à do sonómetro. Relativamente à precisão, os *tablets*, por apresentarem menor amplitude de valores, tiveram também melhor desempenho do que os *smartphones*.

Tabela 9 – Valores de D_{LAeq} nos *smartphones* e *tablets Android*.

	N	Mediana	Desvio Padrão	Mínimo	Máximo
Smartphones	88	-0,17	0,12	-3,63	2,14
Tablets	44	0,00	0,16	-3,05	1,41

Contudo, a análise estatística dos resultados revelou que não existem diferenças estatisticamente significativas ($p>0,05$) entre a distribuição dos *ranks* dos resultados obtidos para a diferença do nível sonoro contínuo equivalente, com ponderação A, entre os *smartphones* e os *tablets* do Sistema Operativo *Android*. Tal significa que o respetivo desempenho em termos de medição do ruído é similar.

De acordo com a figura 4, os valores das medianas de D_{LAeq} obtidos para ambos os tipos de equipamentos, com o Sistema Operativo *iOS*, são muito próximos, o que representa uma pequena diferença em termos de exatidão dos mesmos. Mais uma vez, a nível de precisão foram obtidos melhores resultados com os *tablets*, visto que apresentam uma menor amplitude de valores, representando assim um melhor desempenho.

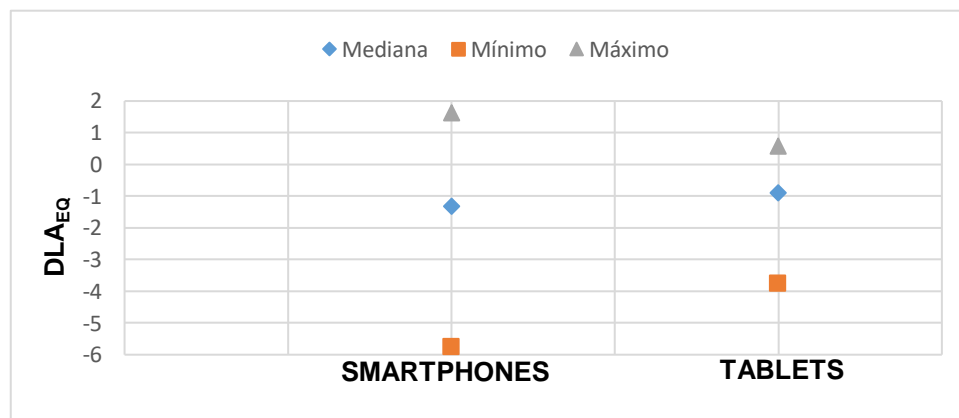


Figura 4 - Variação do D_{LAeq} nos *smartphones* e *tablets* do *iOS*

Não foram encontradas diferenças estatisticamente significativas ($p>0,05$) na distribuição dos *ranks* dos resultados de D_{LAeq} obtidos com equipamentos do Sistema Operativo *iOS*.

De acordo com a figura 5, constata-se que a aplicação *Openoise* revelou maior exatidão (mediana=0,21), relativamente à *Noise Meter* (mediana=-0,45), No

que se refere à precisão, foi também a *Openoise* que revelou melhor desempenho.

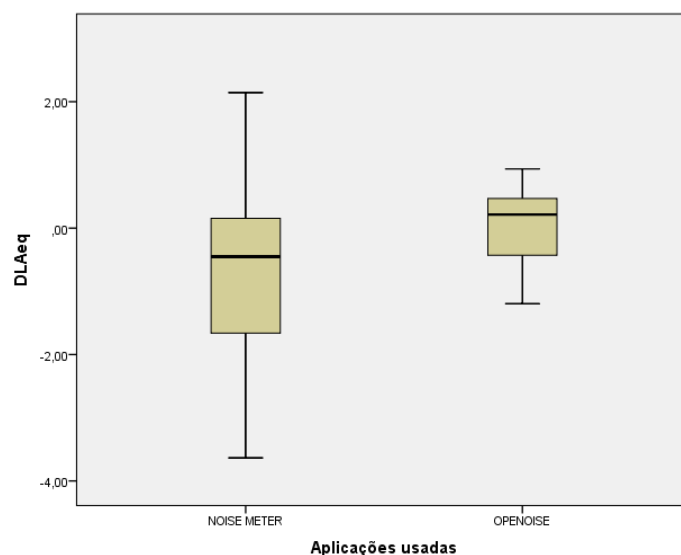


Figura 5 – Valores de D_{LAeq} nos *smartphones Android*, em função das aplicações

Através do Teste de *Mann-Whitney*, é admissível afirmar que existem diferenças estatísticas significativas ($p < 0,05$) na distribuição dos *ranks* dos valores das medianas das diferenças relativas entre os níveis sonoros contínuos equivalentes, com ponderação A, obtidas com as aplicações *Noise Meter* e *Openoise* nos *smartphones* do Sistema Operativo *Android*.

De acordo com a tabela 10, houve menor dispersão dos valores de D_{LAeq} obtidos com a aplicação *Openoise*, pelo que se pode afirmar que esta aplicação apresentou melhores resultados em *tablets* do Sistema Operativo *Android* em termos de precisão, assim como de exatidão (menor valor absoluto da mediana).

Tabela 10 - Valores de D_{LAeq} nos *tablets Android*, em função das aplicações usadas

	N	Mediana	Desvio Padrão	Mínimo	Máximo
Noise Meter	22	-0,59	0,23	-3,05	0,66
Openoise	22	0,34	0,10	-0,82	1,41

Neste caso foram encontradas diferenças estatisticamente significativas ($p < 0,05$) na distribuição dos *ranks* dos valores das medianas de D_{LAeq} obtidos em *tablets* do Sistema Operativo *Android*, com as duas aplicações.

De acordo com a figura 6, obtivemos um menor valor de mediana de D_{LAeq} com a aplicação *Lite* (-0,47). Assim sendo podemos afirmar que em *smartphones* do *iOS*, a aplicação mais exata foi a *Lite*.

A aplicação para a qual obtivemos um melhor desempenho foi com a *NIOSH*, visto que apresentou uma menor dispersão dos valores obtidos.

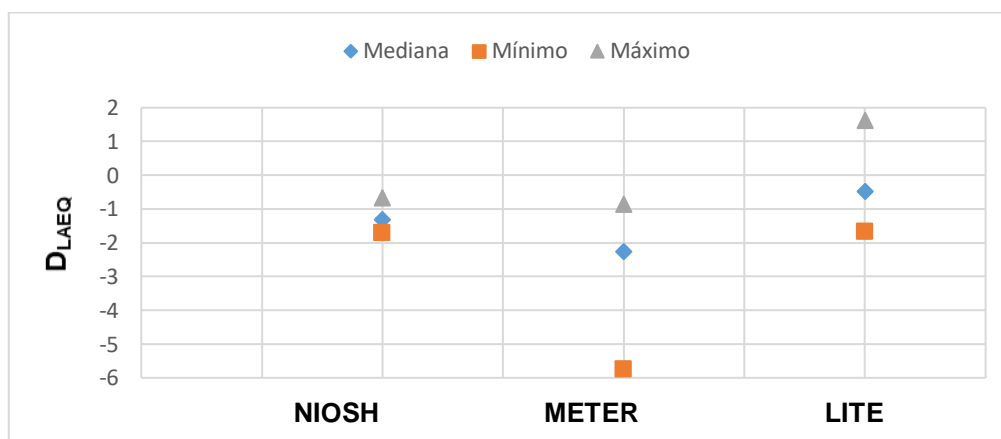


Figura 6 - Variação do D_{LAeq} nos *smartphones iOS*, em função das aplicações usadas

Na comparação entre os resultados obtidos em *smartphones* com as três aplicações através do Teste de *Kruskal-Wallis*, é possível verificar que existem diferenças estatisticamente significativas ($p < 0,05$) na distribuição dos *ranks* dos

valores obtidos para os diferentes níveis sonoros contínuos equivalentes, com ponderação A, obtidos com as três aplicações.

Da análise da Tabela 11, após aplicação do teste de *Mann-Whitney*, conclui-se que existem diferenças estatisticamente significativas ($p < 0,05$) entre a distribuição dos *ranks* dos resultados obtidos pelos seguintes pares de aplicações: *NIOSH-Meter*, *NIOSH-Lite* e *Meter-Lite*.

Tabela 11 - *P-values* resultantes da comparação do desempenho das 3 aplicações *iOS* em *smartphones*

	METER	LITE
NIOSH	0,001	0,032
METER		0,001

Na figura 7 pode verificar-se que a dispersão dos valores de D_{LAeq} foi maior na aplicação *Meter* e que a aplicação mais precisa foi a *NIOSH*. Os valores da mediana de D_{LAeq} (-0,07, para a *Lite*, -0,66, na *Meter*, e -2,22, na *NIOSH*) atestam que a aplicação *Lite* apresentou maior exatidão em *tablets iOS*.

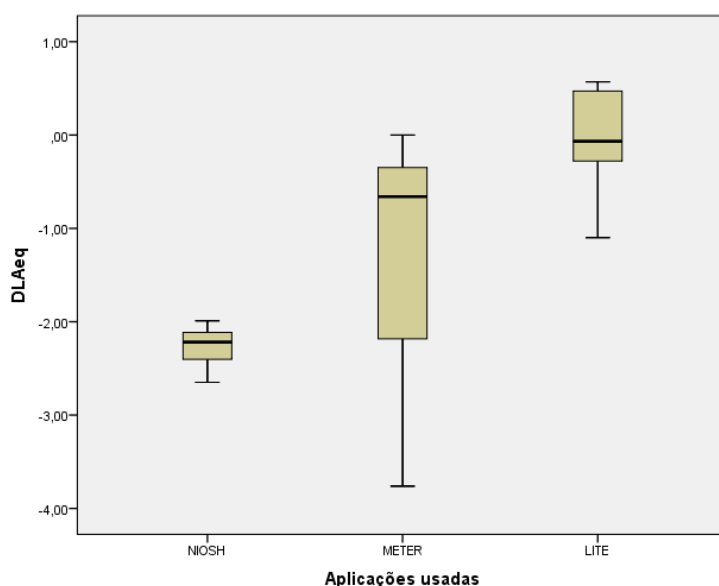


Figura 7 - Variação do D_{LAeq} em *tablets iOS*, em função das aplicações

Na comparação dos resultados obtidos nos *tablets* com as três aplicações, através do Teste de *Kruskal-Wallis*, revelou que existem diferenças estatisticamente significativas ($p < 0,05$) na distribuição dos *ranks* nos resultados obtidos para os diferentes níveis sonoros contínuos equivalentes, com ponderação A, entre os *tablets* do Sistema Operativo *iOS*.

Através da tabela 12, conclui-se que não existem diferenças estatisticamente significativas ($p > 0,05$) entre a distribuição dos *ranks* dos resultados obtidos nos *tablets iOS* pelo seguinte par de aplicações: *NIOSH-Meter*.

Tabela 12 - *P-values* resultantes da comparação do desempenho nas 3 aplicações *iOS*, em *tablets*

	METER	LITE
NIOSH	0,083	0,001
METER		0,022

3.3. Desempenho na medição do L_{Aeq} em função dos modelos/marcas dos equipamentos

Nesta seção analisamos os resultados alcançados pelas diferenças dos níveis sonoros contínuos equivalentes em função dos equipamentos estudados.

De acordo com a tabela 13, o *Huawei MediaPad M3 Lite 10* foi o equipamento que apresentou maior exatidão. Relativamente à precisão, o *Samsung GT 19301L* apresentou uma menor amplitude de valores, refletindo assim um melhor desempenho.

Tabela 13 – Valores de D_{LAeq} nos 16 equipamentos

	N	Mediana	Desvio Padrão	Mínimo	Máximo
Iphone 7	23	-1,55	0,26	-5,76	0,00
Huawei P9 Lite	12	-1,07	0,29	-2,83	0,47
ipad	24	-0,90	0,25	-3,76	0,57
Iphone SE	19	-0,79	0,35	-4,23	1,62
Samsung Galaxy J3	8	-0,66	0,28	-2,01	0,00
Asus K010	6	-0,54	0,28	-1,06	0,71
Samsung GT-19301L	11	-0,38	0,14	-0,67	0,58
Samsung GT-19082	7	-0,26	0,68	-3,63	1,84
Acer B1-830	10	-0,19	0,41	-2,77	0,62
Huawei P10 Lite	15	-0,13	0,11	-0,93	0,77
Samsung SM-T560	11	-0,13	0,29	-3,05	0,43
Huawei MediaPad M3 Lite 10	11	0,00	0,31	-2,94	0,77
LG-E610	14	0,34	0,38	-2,99	2,01
Alcatel Pop	12	0,35	0,29	-1,84	1,07
Asus ZenPad C7.0	6	0,58	0,19	0,11	1,41
Huawei GR3	9	0,79	0,53	-2,73	2,14

Pela figura 8, verificamos que quando analisamos apenas os *smartphones*, o valor da mediana de D_{LAeq} para o *Huawei P10 Lite* foi de -0,13, o que significa que apresenta maior exatidão. Ao analisarmos a precisão, o *Samsung GT-19301L*, apresentou uma menor amplitude de valores, relevando assim um melhor desempenho.

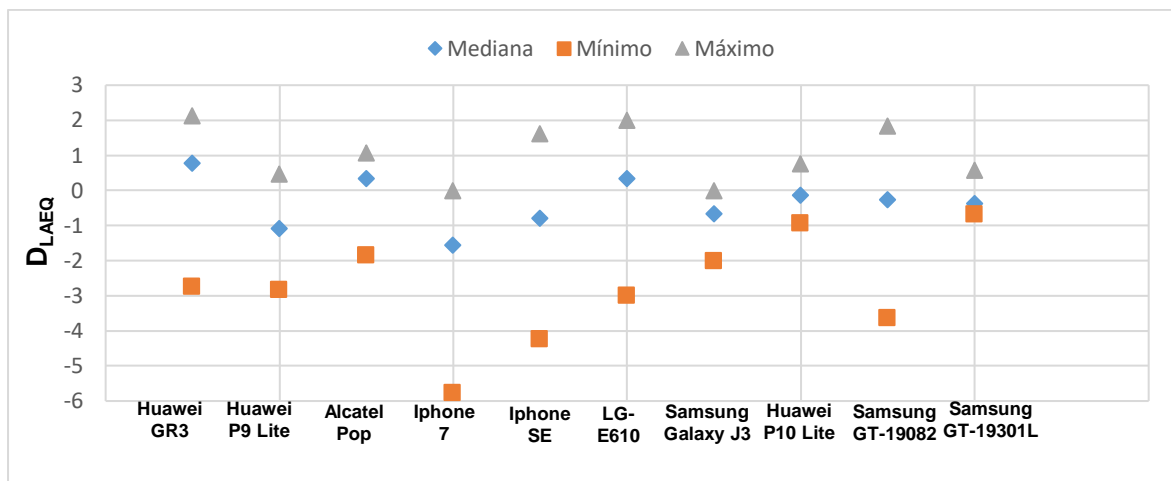


Figura 8 - Variação do D_{LAeq} em função dos smartphones

Pela análise estatística dos resultados, através do Teste de *Kruskal-Wallis*, registaram-se diferenças estatisticamente significativas ($p < 0,05$) entre a distribuição dos *ranks* dos resultados obtidos para a diferença do nível sonoro contínuo equivalente, com ponderação A, nos *smartphones*.

Desta forma, é necessário efectuar o Teste de comparações múltiplas de *Mann-Whitney* para sabermos em que pares se registaram diferenças significativas.

Da análise da tabela 14 e após aplicação do Teste de *Mann-Whitney*, conclui-se que existem diferenças estatisticamente significativas ($p < 0,05$) entre a distribuição dos *ranks* dos resultados obtidos pelos seguintes pares de equipamentos: *Huawei GR3-Huawei P9 Lite*, *Huawei GR3-iphone 7*, *Huawei P9 Lite-Alcatel Pop*, *Huawei P9 Lite-Huawei P10 Lite*, *Huawei P9 Lite-Samsung GT 19301L*, *Alcatel Pop-iphone7*, *Alcatel Pop-Samsung Galaxy J3*, *iphone7-iphone SE*, *iphone7-LG-E610*, *iphone7-Samsung Galaxy J3*, *iphone7-Huawei P10 Lite*, *iphone7-Samsung GT-19082*, *iphone7-Samsung GT-19301L*, *Samsung Galaxy J3- Huawei P10 Lite*.

Tabela 14 - *P-values* resultantes da comparação do desempenho dos *smartphones*

Equipamentos	Huawei P9 Lite	Alcatel Pop	iphone 7	iphone SE	LG-E610	Samsung Galaxy J3	Huawei P10 Lite	Samsung GT-19082	Samsung GT-19301L
Huawei GR3	0,023	0,345	0,001	0,068	0,124	0,093	0,174	0,606	0,201
Huawei P9 Lite		0,028	0,115	0,484	0,176	0,521	0,003	0,120	0,027
Alcatel Pop			0,001	0,130	0,560	0,039	0,256	0,967	0,347
iphone 7				0,003	0,018	0,023	0,001	0,004	0,001
iphone SE					0,602	0,856	0,083	0,209	0,085
LG-E610						0,127	0,533	0,743	0,609
Samsung Galaxy J3							0,013	0,397	0,310
Huawei P10 Lite								0,945	0,305
Samsung GT-19082									0,536

De acordo com a figura 9, o melhor desempenho em termos de exatidão registou-se com o *tablet Huawei MediaPad M3 Lite 10*, mas o mesmo não se pode dizer ao nível da precisão. Neste caso, o *tablet Samsung SM-T560* assumiu a liderança.

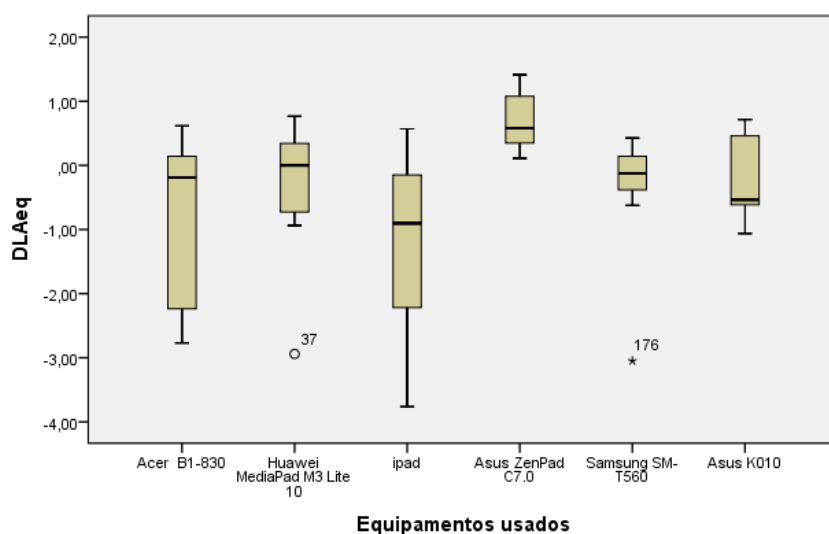


Figura 9 - Variação de DL_{Aeq} em função dos tablets

Através do Teste de *Kruskal-Wallis*, é admissível afirmar que existem diferenças estatisticamente significativas ($p < 0,05$) na distribuição dos *ranks* dos valores das medianas das diferenças relativas entre os níveis sonoros contínuos equivalentes, com ponderação A, obtidos com os *tablets*.

Da tabela 15, após a aplicação do Teste de *Mann-Whitney*, conclui-se que existem diferenças estatisticamente significativas ($p < 0,05$) entre a distribuição dos *ranks* dos resultados obtidos pelos seguintes pares de *tablets*: *Acer B1-830-Asus ZenPad C7.0*, *Huawei MediaPad M3 Lite 10-Asus ZenPad C7.0*, *ipad- Asus ZenPad C7.0* e *Asus ZenPad C7.0-Samsung SM-T560*.

Tabela 15 - *P-values* resultantes da comparação do desempenho nos tablets

Equipamentos	Huawei MediaPad M3 Lite 10	ipad	Asus ZenPad C7.0	Samsung SM-T560	Asus K010
Acer B1-830	0,349	0,401	0,007	0,654	0,713
Huawei MediaPad M3 Lite 10		0,056	0,027	0,797	0,961
ipad			0,001	0,072	0,158
Asus ZenPad C7.0				0,003	0,065
Samsung SM-T560					0,733

A nível global, foram obtidos melhores resultados com os *tablets*, o que pode dever-se ao reduzido número dos mesmos, comparativamente ao dos *smartphones*.

Nas medições do nível sonoro contínuo equivalente referente a todos os equipamentos, obteve-se uma maior exatidão com o *Huawei MediaPad M3 Lite10 (tablet)* enquanto ao nível da precisão, o melhor valor obtido foi com o *smartphone Samsung GT-19301L*. Quando fazemos a divisão em *smartphones/tablets*, as medições em que se alcançou uma melhor exatidão nos *smartphones* foi com o *Huawei P10 Lite* enquanto nos *tablets* foi com o *Huawei MediaPad M3 Lite 10*. Relativamente à precisão, nos *tablets* obtivemos um melhor desempenho com o *Samsung SM-T560* enquanto nos *smartphones* foi com o *Samsung GT-19301L*.

3.4. Desempenho na medição do L_{Aeq} em função do nível de Ruído Rosa

Seguidamente foi analisado o nível sonoro contínuo equivalente em função do nível de Ruído Rosa.

Através da figura 10, observa-se que o melhor desempenho em termos de exatidão se registou para 75 dB(A) (mediana=-0,13), mas o mesmo não se pode dizer relativamente à precisão. Pode verificar-se que a dispersão dos valores de D_{LAeq} aumentam à medida que o nível de ruído aumenta, representando uma diminuição da precisão dos equipamentos/aplicações. Curiosamente, a partir do nível de 70 dB(A), apesar da dispersão não aumentar claramente, registou-se uma diminuição simultânea dos valores mínimos, dos valores máximos. Parece aumentar a tendência dos equipamentos/aplicações para medir os níveis de ruído por defeito.

Globalmente, o melhor desempenho ocorreu na medição de ruído rosa de 60 dB(A).

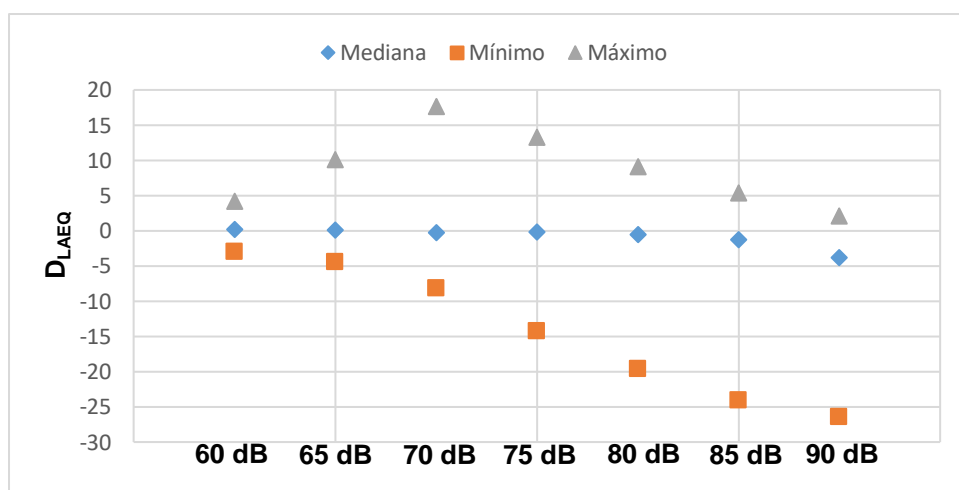


Figura 10 - Variação do D_{LAeq} em função do nível de ruído medido

Os resultados apresentados na tabela 16 confirmam as afirmações anteriores. Os valores mais exatos foram obtidos para os níveis de Ruído Rosa de 70 e de 75 dB(A).

Tabela 16 – Valores de D_{LAeq} em *Android*, em função do nível de ruído medido

	N	Mediana	Desvio Padrão	Mínimo	Máximo
60 dB(A)	26	-0,17	0,32	-2,99	4,18
65 dB(A)	26	0,31	0,49	-4,47	10,12
70 dB(A)	26	-0,07	0,80	-8,11	17,65
75 dB(A)	26	-0,07	0,79	-14,21	13,28
80 dB(A)	26	-0,38	0,89	-19,58	9,15
85 dB(A)	26	-1,24	1,03	-24,06	5,43
90 dB(A)	26	-4,56	1,10	-26,47	2,11

Da comparação dos resultados obtidos para os sete níveis de Ruído Rosa, através do Teste de *Friedman*, é possível verificar que existem diferenças estatisticamente significativas ($p < 0,05$) na distribuição dos *ranks* dos valores referentes às medianas do D_{LAeq} .

O teste de *Wilcoxon*, conforme apresentado na tabela 17, permitiu verificar que apenas não existem diferenças estatisticamente significativas ($p > 0,05$) entre a distribuição dos *ranks* dos resultados obtidos para os seguintes pares de níveis de Ruído Rosa: 60dB(A)-65dB(A), 60dB(A)-70dB(A), 65dB(A)-70dB(A), 60dB(A)-75dB(A), 65dB(A)-75dB(A), 70dB(A)-75dB(A), 60dB(A)-80dB(A) e 70dB(A)-80dB(A). Assim pode afirmar-se que o desempenho dos equipamentos/aplicações é mais crítico na medição de níveis de ruído superiores a 80 dB(A).

Tabela 17 - *P-values* resultantes da comparação do desempenho dos 7 níveis de ruído em *Android*

Níveis de Ruído Rosa	65 dB	70 dB	75 dB	80 dB	85 dB	90 dB
60 dB	0,454	0,869	0,722	0,178	0,022	0,001
65 dB		0,542	0,620	0,012	0,002	0,001
70 dB			0,388	0,094	0,003	0,001
75 dB				0,043	0,001	0,001
80 dB					0,004	0,001
85 dB						0,001

Da observação da figura 11 verifica-se que todos os valores das medianas de D_{LAeq} são negativos para os equipamentos/aplicações *iOS*, o que significa que os resultados das medições são inferiores aos que se obtêm com o sonómetro. A dispersão de valores aparenta aumentar para níveis de ruído mais elevados do que os registados na análise global.

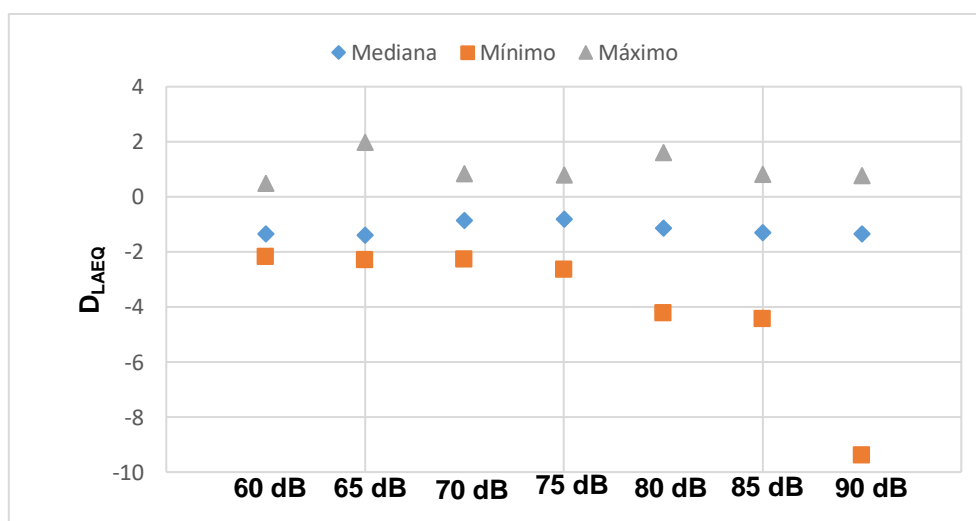


Figura 11 - Variação do D_{LAeq} em *iOS*, em função do nível de ruído medido

No entanto, após comparação dos resultados obtidos para os sete níveis de Ruído Rosa, através do Teste de *Friedman*, é possível verificar que não existem diferenças estatisticamente significativas ($p > 0,05$) na distribuição dos *ranks* dos valores referentes às medianas do D_{LAeq} .

3.5. Desempenho na medição do L_{Aeq} em função do tipo de ruído

Nesta seção seguinte é analisado o desempenho do nível sonoro contínuo equivalente em função do tipo de ruído.

A figura 12 evidencia um melhor desempenho dos equipamentos/aplicações, em termos globais, na medição de ruído rosa em relação à medição de ruído industrial, tanto em termos de exatidão (mediana de D_{LAeq} mais próxima de zero) como de precisão (menor dispersão de valores).

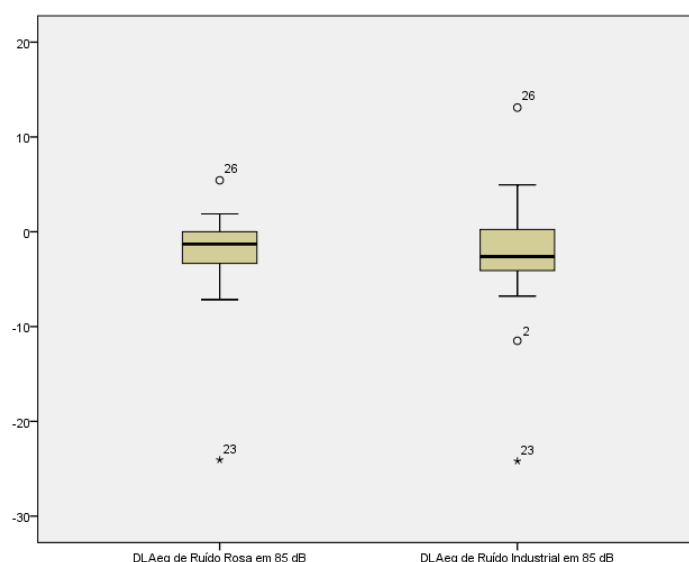


Figura 12 - Variação de D_{LAeq} em função do tipo de ruído medido

Centrando a atenção nos equipamentos/aplicações para sistema operativo *Android*, aquela tendência mantém-se (tabela 18).

Tabela 18-Dispersão do D_{LAeq} em função do Ruído Rosa e do Ruído Industrial em Android

	N	Mediana	Desvio Padrão	Mínimo	Máximo
Ruído Rosa 85 dB	26	-1,24	1,03	-24,06	5,43
Ruído Industrial 85 dB	26	-2,72	1,24	-24,19	13,10

Contudo, o Teste de *Wilcoxon* permitiu verificar que não existem diferenças estatisticamente significativas ($p > 0,05$) na distribuição dos *ranks* dos valores referentes às medianas do D_{LAeq} quando se mediu ruído rosa e ruído industrial com equipamento/aplicações para sistema operativo *Android*.

Relativamente aos equipamentos/aplicações para sistema operativo *iOS*, a figura 13 indicia uma diferença de desempenho muito ligeira.

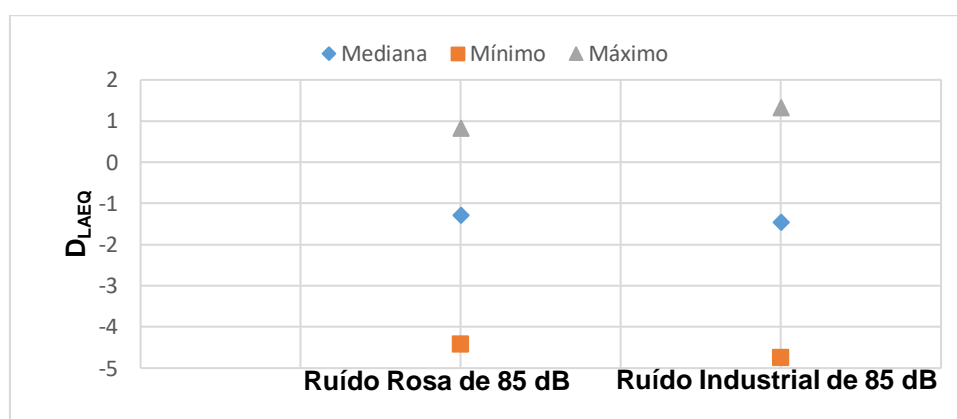


Figura 13 - Variação do D_{LAeq} em função do tipo de ruído medido, em sistema *iOS*

A realização do teste de *Wilcoxon* permitiu confirmar que não existem diferenças estatisticamente significativas ($p > 0,05$) na distribuição dos *ranks* dos valores das medianas de D_{LAeq} obtidos na medição de Ruído Rosa e de Ruído Industrial com equipamentos/aplicações para sistema operativo *iOS*.

A ligeira afetação do desempenho dos equipamentos/aplicações durante a medição do ruído industrial poderá dever-se às variações do nível sonoro associadas a este.

3.6. Desempenho na medição do L_{Cpico}

Apenas a aplicação *NIOSH* permitiu medir o nível de pressão sonora de pico, com ponderação C, L_{Cpico} .

Da análise da figura 14 verifica-se que os *smartphones* apresentaram um desempenho melhor do que o *tablet*, no que se refere à precisão. Em relação à exatidão, o *tablet* revelou melhor prestação (mediana=-0,98).

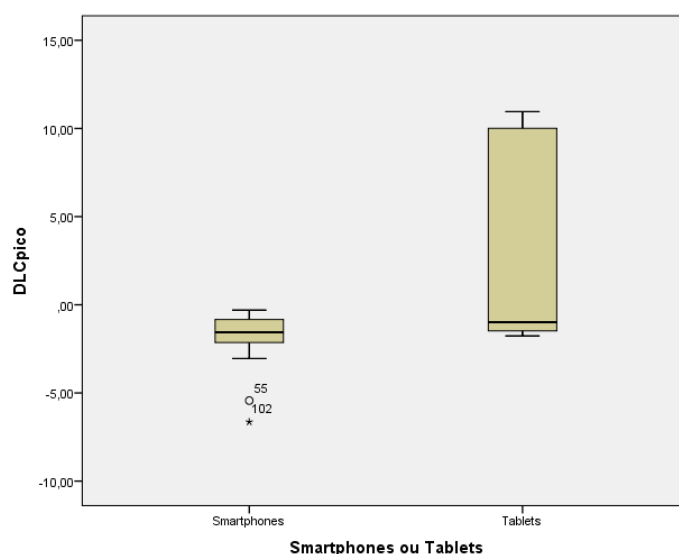


Figura 14 - Variação do D_{LCpico} em função do tipo de equipamento

É importante realçar que apenas 2 *smartphones* e 1 *tablet* foram testados com a aplicação *NIOSH*.

Todavia, os resultados do Teste de *Wilcoxon* indicam que não existem diferenças estatisticamente significativas ($p > 0,05$) na distribuição dos *ranks* dos

valores das medianas das diferenças relativas entre o nível de pressão sonora de pico obtidas com o *tablet* e os *smartphones*.

Da observação da tabela 19, verifica-se que todos os valores da mediana de DL_{Cpico} são negativos para os *smartphones/tablets iOS*, o que significa que os resultados das medições são inferiores aos que se obtêm com o sonómetro. O equipamento que apresentou melhor desempenho relativamente à precisão foi o *iphone 7*.

Tabela 19 - Variação do DL_{Cpico} em função do equipamento

	N	Mediana	Desvio Padrão	Mínimo	Máximo
iphone 7	8	-1,59	0,49	-5,43	-0,96
ipad	8	-0,98	2,14	-1,76	10,95
iphone SE	8	-0,84	0,76	-6,64	-0,30

No entanto, após a comparação dos resultados obtidos para o nível de pressão sonora de pico, através do Teste de *Kruskal-Wallis*, é possível verificar que existem diferenças estatisticamente significativas ($p < 0,05$) na distribuição dos *ranks* dos valores das medianas de DL_{Cpico} .

É necessário efetuar o Teste de comparações múltiplas de *Mann-Whitney* para sabermos em que pares ocorreram essas diferenças significativas.

Conforme a tabela 20, e com a aplicação do Teste de *Mann-Whitney*, conclui-se que existem diferenças estatisticamente significativas ($p < 0,05$) entre a distribuição dos *ranks* dos resultados obtidos pelo par de equipamentos *iphone7-ipad*.

Tabela 20 - *P-values* resultantes da comparação do desempenho entre 3 equipamentos, na medição do D_{LCpico}

	ipad	iphone SE
iphone 7	0,021	0,234
ipad		0,505

A figura 15 evidencia um melhor desempenho ao nível da exatidão com o iphone 7 (mediana do D_{LCpico} mais próxima de 0). Contrariamente, obteve-se uma melhor precisão com o *iPhone SE*.

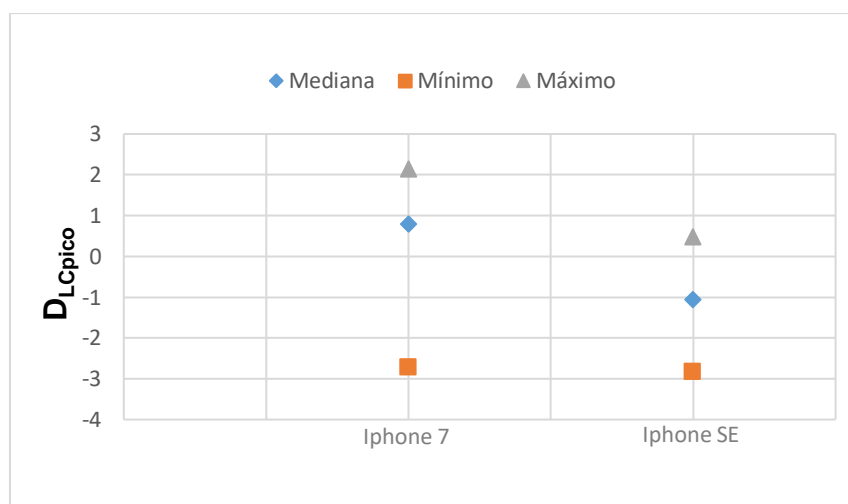


Figura 15 - Variação de D_{LCpico} em função dos *smartphones* iOS

Após a comparação dos resultados obtidos com estes 2 *iPhones*, através do Teste de *Mann-Whitney*, é possível verificar que não existem diferenças significativas ($p > 0,05$) na distribuição dos *ranks* dos valores das medianas de D_{LCpico} .

Conforme a tabela 21, os resultados obtidos durante a medição do nível de pressão sonora de pico, para os 7 níveis de Ruído Rosa, são distintos dos que se obtiveram para o nível sonoro contínuo equivalente com ponderação A. Curiosamente, os resultados mais próximos dos do sonómetro foram alcançados para os níveis de 80 e 90 dB(A) de ruído rosa e o melhor nível de precisão ocorreu para o nível de 90 dB(A).

Tabela 21 – Valores de D_{LCpico} em função do nível de ruído medido

	N	Mediana	Desvio Padrão	Mínimo	Máximo
60 dB(A)	3	-5,43	5,23	-6,64	9,61
65 dB(A)	3	-2,26	4,36	-3,05	10,40
70 dB(A)	3	-1,53	0,28	-1,76	-0,83
75 dB(A)	3	-1,45	0,26	-1,45	-0,67
80 dB(A)	3	-0,85	4,06	-1,59	10,95
85 dB(A)	3	-1,11	0,38	-1,60	-0,30
90 dB(A)	3	-0,86	0,15	-0,96	-0,48

A realização do Teste de *Friedman* revelou que não existem diferenças estatisticamente significativas ($p > 0,05$) na distribuição dos *ranks* dos valores referentes às medianas das diferenças relativas entre os níveis de pressão sonora de pico medidos para os diferentes níveis de Ruído Rosa.

Da comparação entre os resultados da medição do nível de pressão sonora de pico, obtidos para diferentes tipos de ruído (figura 16), parece que os equipamentos/aplicações apresentaram melhor desempenho na medição de ruído industrial.

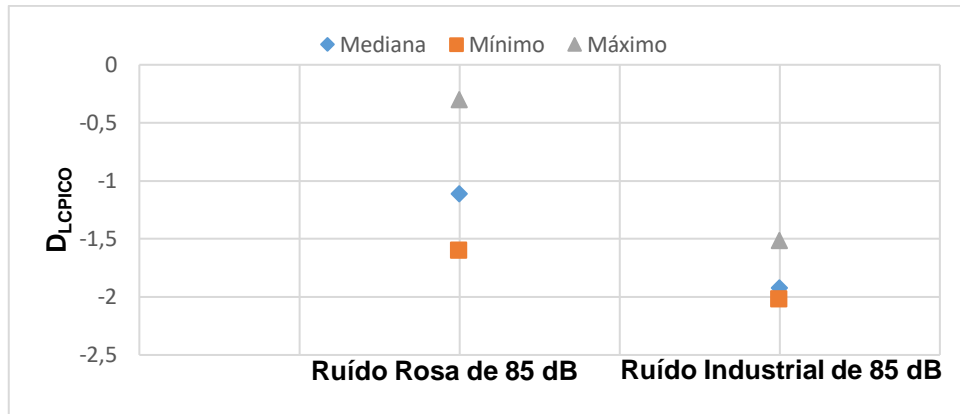


Figura 16 - Variação de D_{LCpico} em função do tipo de ruído medido

Esta constatação não é apoiada pelo Teste de *Wilcoxon* que revelou que não existem diferenças estatisticamente significativas ($p > 0,05$) na distribuição dos *ranks* dos valores referentes às medianas das diferenças relativas entre os níveis de pressão sonora de pico, na medição de ruído rosa e de ruído industrial.

É de lembrar que a nossa amostra de Sistema *iOS* é de apenas 3 equipamentos.

CONCLUSÃO

Nesta dissertação analisou-se o desempenho de *smartphones* e *tablets* na medição de ruído, tendo em consideração as aplicações instaladas, o sistema operativo utilizado e as marcas e modelos dos equipamentos. Nos testes mediram-se diferentes tipos de ruído (ruído rosa e ruído industrial) e diferentes ruídos de diferentes níveis sonoros contínuos equivalentes, com ponderação A.

Confirmámos, tal como outros autores tinham feito, nenhum equipamento/aplicação consegue ser tão preciso e exato como um aparelho de medição homologado e calibrado Murphy & King, 2016 e Kardous & Shaw, 2014. Assim, *smartphones* e *tablets* não parecem ser uma alternativa a um sonómetro de classe 1 ou um dosímetro.

No que respeita à medição do nível sonoro contínuo equivalente, com ponderação A:

- Relativamente à exatidão, verificámos que a melhor aplicação foi a *Lite*, enquanto a melhor precisão foi registada com a *NIOSH*. Os piores a nível da precisão foram as aplicações *Meter* e *Noise Meter*, enquanto ao nível da exatidão foi mais uma vez a *Meter*;
- O tipo de equipamento que revelou maior exatidão e precisão foi os *tablets*, apresentando desta forma, piores resultados de exatidão e de precisão com os *smartphones*;
- Dos 16 equipamentos obtivemos melhores resultados de exatidão com o *Huawei MediaPad M3 Lite10*, enquanto respeitante à precisão obtivemos melhores resultados com o equipamento *Samsung GT-19301L*. Relativamente aos piores, ao nível da exatidão foi com um *Huawei P9 Lite* e ao nível da precisão foi com o *iphone SE*;
- Verificou-se que a resposta dos diferentes equipamentos apresentam variações para diferentes níveis de ruído medidos. Ao nível de exatidão, foram obtidos melhores resultados para o nível de 75 dB(A) e em termos de precisão para 60 dB(A). A dispersão dos resultados foi aumentando à

medida que o nível sonoro foi aumentando, revelando assim piores resultados (exatidão e de precisão) com o nível de 90 dB(A)

- Quando se comparou o desempenho na medição de diferentes tipos de ruído, obtiveram-se melhores resultados, tanto a nível de exatidão como de precisão, no caso do Ruído Rosa. Assim sendo os piores valores alcançados (precisão e de exatidão) foi com o Ruído Industrial;

Relativamente à medição do nível de pressão sonora de pico, só foi possível fazê-lo com a aplicação *NIOSH*, sendo as conclusões pouco ou nada generalizáveis. No entanto, entre os equipamentos *iOS*, registou-se melhor exatidão com o *iPad*, e melhor precisão com o *iPhone7*. Quando verificamos os piores ao nível da exatidão foi com o *iPhone 7* enquanto ao nível da precisão foi com o *iPad*. Relativamente aos tipos de equipamentos confirma-se o que foi dito anteriormente. Em função dos níveis de Ruído Rosa obtiveram-se melhores resultados de exatidão com o nível 80 e 90 dB (C) enquanto a melhor precisão foi com o nível 90 dB (C). Os piores resultados foram alcançados ao nível de exatidão com o nível de 60 dB (C) enquanto ao nível da precisão foi o de 80 dB (C). Quando se comparou o desempenho na medição de diferentes tipos de ruído, obtiveram-se melhores resultados, de exatidão com o Ruído Rosa e de precisão com o Industrial.

Verificamos que o maior valor alcançado do D_{LAeq} foi obtido com o *iphone 7*, este valor traduz um pior desempenho. Assim sendo, verificamos através da equação (3), se este valor era ou não aceitável.

$$L_{AeqA} - L_{AeqS} \leq 0,5 \text{ dB} \quad (3)$$

Onde:

L_{AeqA} -Nível sonoro contínuo equivalente obtido com a aplicação;

L_{AeqS} -Nível sonoro contínuo equivalente obtido com o sonómetro.

Concluimos portanto que o valor obtido com o *iphone 7* não era aceitável, visto era superior a 0,5 dB.

Como limitações deste estudo podemos enunciar:

- O reduzido número de equipamentos do Sistema Operativo *iOS*, isto é 2 *smartphones* e 1 *tablet*. Desta forma não nos é permitido generalizar as conclusões para este tipo de sistema operativo;
- Alguns equipamentos ficaram impossibilitados de integrar o estudo por terem versões do sistema operativo incompatíveis com as aplicações seleccionadas;
- Nem todas as aplicações seleccionadas permitiam a calibração, nem a medição do L_{Cpico} ;
- Não foi possível encontrar nenhuma aplicação que pudesse ser instalada simultaneamente nos Sistemas Operativos *Android* e *iOS*.

Nestes sentido, sugerem-se para estudos futuros:

- A criação de aplicações capazes de realizarem medições em banda de oitava, uma vez que pode ser relevante, nomeadamente para a seleção de protetores auditivos individuais;
- Ter-se em conta variáveis como a antiguidade do equipamento testado, uma vez que o desgaste pode influenciar o respetivo desempenho;
- Criação de aplicações compatíveis para os dois Sistemas operativos: *iOS* e *Android*.

BIBLIOGRAFIA

- Arezes, P. (2002). Percepção do risco de exposição ocupacional ao ruído. Dissertação de Doutoramento em Engenharia de Produção, Departamento de Produção e Sistemas, Escola de Engenharia da Universidade do Minho. Consultado a 15 de Janeiro de 2019 de <http://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/387/1/Tese%20PhD%20Arezes2002.pdf>
- Anacleto, J. (2013). Medições e suas incertezas. Ação no âmbito do PEC 115, Departamento de Física, Escola de Ciências e Tecnologia, Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro. Consultado a 25 de Agosto de 2019 de <http://fisica.utad.pt/escolherciencia/pec115/pdfs/A1-T-PEC115.pdf>
- Bocher, E., Petit, G., Picaut, J., Fortin, N., & Guillaume, G. (2017). Collaborative noise data collected from *smartphones*. Data in Brief, 14, 498–503. <https://doi.org/doi.org/10.1016/j.dib.2017.07.039>
- Branco, S., P., S. (2010). *Acreditação de métodos de ensaios e/ou calibração de um laboratório*. Relatório de projecto necessário para a obtenção do grau de mestre, Departamento de Economia, Gestão e Engenharia Industrial e Turismo, Universidade de Aveiro, Aveiro. Consultado a 23 de Agosto de 2019 de <https://ria.ua.pt/bitstream/10773/5500/1/mestrado.pdf>
- Celestina, M., Hrovat, J., Kardous, C., (2018). Smartphone - based sound level measurement apps: Evaluation of compliance with international sound level meter standards. Applied Acoustics, 139, 119-128. <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2018.04.011>

- Coelho, J.; Ferreira, A. (2009). Agência Portuguesa do Ambiente: Critérios para análise de relações exposição-impacte do ruído de infra-estruturas de transporte. Grupo de Acústica e Controlo de Ruído do Centro de Análise e Processamento de Sinais do Instituto Superior Técnico. Consultado a 14 de Setembro de 2019, de https://apambiente.pt/_zdata/DAR/Ruido/NotasTecnicas_EstudosReferencia/Criterios_analise_relacoes_exposicao_impacte_ruido_infra_estruturas_transporte.pdf
- C, A., P., D. (2017). 58% dos portugueses têm um smartphone. Consultado a 22 de Setembro de 2019, de <http://www.apdc.pt/noticias/atualidade-nacional/58--dos-portugueses-tem-um-smartphone/#>
- Decreto-Lei n.º 9/2007 de 17 de Janeiro – Aprova o regulamento geral do ruído e revoga o regime legal da poluição sonora, aprovado pelo Decreto Lei nº 292/2000, de 14 de Novembro. (2007). Diário da República, 1ª Série (Nº12), 389-398.
- Decreto-Lei nº140/2004 de 8 de Junho – Aprova a reestruturação do Instituto Português da Qualidade. (2004). Diário da República, 1ª Série (Nº134), 3614-3619
- Decreto-Lei nº 182/2006 de 6 de Setembro – Transpõe para a ordem jurídica interna a Diretiva nº 2003/10/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 6 de Fevereiro, relativa às prescrições mínimas de segurança e saúde respeitantes à exposição dos trabalhadores aos riscos devidos aos agentes físicos (ruído). (2006). Diário da República, 1ª Série (Nº172), 6584-6593.
- Decreto-Lei nº 192/2006 de 26 de Setembro – Transpõe para a ordem jurídica interna a Diretiva nº 2004/22/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 31 de Março, relativa aos instrumentos de medição. (2006). Diário da República, 1ª Série (Nº186), 7009-7031.

- Decreto-Lei nº 291/1990 de 20 de Setembro – Estabelece o regime de controlo metrológico de métodos e instrumentos de medição. (1990). Diário da República, 1ª Série (Nº218), 3879-3882.
- Dias, E. M. (2007). *Ruído nos Locais de Trabalho*. 1ª Edição, Lisboa: Perfil, DeltaConsultores e ISPA em parceria.
- Diretiva 2002/49/CE do Parlamento Europeu e do Conselho, de 25 de Junho de 2002 - Relativa à avaliação e gestão do ruído ambiente. (2002). Comissão das Comunidades Europeias. Bruxelas.
- Diretiva 2003/10/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 6 de Fevereiro de 2003 - Relativa às prescrições mínimas de segurança e de saúde em matéria de exposição dos trabalhadores aos riscos devidos aos agentes físicos (ruído). (2003). Comissão das Comunidades Europeias. Bruxelas.
- Europeia, Comissão (2018). *Comunicações e Informações*. Obtido 14 de Setembro de 2019, de <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/PDF/?uri=OJ:C:2018:334:FULL&from=PT>
- Europeia, Comissão (2009). *Guia Indicativo de Boas Práticas para a Aplicação da Diretiva 2003/10/CE “Ruído no Trabalho”*. Serviço das Publicações da União Europeia, 3-169. Consultado a 3 de Julho de 2019, de <https://doi.org/10.2767/29834>
- Europeia, Comissão (2017). Ruído, uma ameaça oculta para a saúde. Consultado a 2 de Julho de 2019, de https://ec.europa.eu/environment/efe/themes/urban-noise-and-health/noise-hidden-health-threat_pt.
- Fernandes, A. P. S. (2013). *Avaliação de Ruído - Estaleiro Central da SEHT, SA*. Projecto Individual de Mestrado em Segurança e Higiene no Trabalho, Departamento de Engenharia Mecânica, Escola Superior de Tecnologia de Setúbal, Setúbal. Consultado a 15 de Janeiro de 2019 de https://comum.rcaap.pt/bitstream/10400.26/5360/1/Relatorio_Mestrado_Final.pdf

- Forrester (2019). Forrester Analytics: Mobile, Smartphone, And Tablet Forecast, 2018 To 2023 (Global). Consultado a 23 de Setembro de 2019, de <https://www.forrester.com/report/Forrester+Analytics+Mobile+Smartphone+And+Tablet+Forecast+2018+To+2023+Global/-/E-RES145709>
- Freitas, L. (2016). *Segurança e Saúde do Trabalho*. 3ª Edição, Lisboa: Edições Sílabo
- Honeycutt, R. (2015). Sounds Control: Smartphone Apps for Sound Measurement. AudioXpress, pp.28, 34.
- IA (2004). *O ruído e a cidade*. 1ª Edição, Tradução e adaptação de B. Valadas e M.J. Leite, Lisboa: Instituto do Ambiente.
- Ibekwe, T. S.; Folorunsho, D. O.; Dahilo, E. A.; Gbujie, I. O; Nwegbu, M. M; Nwaorgu, O. G. (2016), Evaluation of mobile *smartphones* app as a screening tool for environmental noise monitoring. Journal of Occupational and Environmental Hygiene, 13, D31-D36. <http://dx.doi.org/10.1080/15459624.2015.1093134>
- Johnson, N., Saxena, P., Williams, D., Bangole, O., Hasan, M., Ahamed, S., Smith, R. (2015). Smartphone- based light and sound intensity calculation application for accessibility measurement, RESNA Annual Conference 2015, Denver, Wisconsin, USA.
- Kardous, C.; Shaw, P. (2014). Evaluation of smartphone sound measurement applications. The Journal of the Acoustical Society of America, 135(4), 186-192. <https://doi.org/10.1121/1.4865269>
- Leao, S.; Ong, K.; Krezel, A. (2014). 2Loud?: Community mapping of exposure to traffic noise with mobile phones. Environmental Monitoring and Assessment, 186(10), 6193-6206. <https://doi.org/10.1007/s10661-014-3848-9>
- Matarazzo, T., Vazifeh, M., Pakzad, S., Santi, P., Ratti, C. (2017). Smartphone data streams for bridge health monitoring. Procedia Engineering, 199, 966–971. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.09.203>

- Méndez, J., Vílchez, R., Rubio, O., (2016). Validation for smartphone applications for measuring noise. *International Journal of Engineering Research & Science*, 2, 19-25.
- Miguel, A. S.S.R. (2014). *Manual de Higiene e Segurança do Trabalho*. 13ª Edição, Porto: Porto Editora
- Murphy, E., King, E., (2016). Testing the accuracy of *smartphones* and sound level meter applications for measuring environmental noise. *Applied Acoustics*, 106, 16-22. <https://dx.doi.org/10.1016/j.apacoust.2015.12.012>
- NP EN ISO 9612 (2011) Acústica - Determinação da exposição ao ruído ocupacional. IPQ/CEN. Lisboa
- Nunes, F. M. D. O. (2006). *Segurança e Higiene do Trabalho-Manual Técnico*. 1ª Edição, Lisboa: Texto Editores
- OIT (2009). *O ruído no trabalho*. 1ª Edição, Geneva: Organização Internacional do Trabalho.
- Patrício, P.J.B.S.S. (2013). *Medir para proteger: Medir a exposição dos trabalhadores aos riscos do ruído*. Relatório do trabalho de natureza profissional para a obtenção do Título de Especialista em Metrologia, Instituto Superior de Engenharia do Porto, Porto. Consultado a 15 de Janeiro de 2019 de https://recipp.ipp.pt/bitstream/10400.22/4988/1/PTE_PauloPatricio_2013.pdf
- Pereira, P.S.C., (2013). *A utilização de smatrphones na monitorização do ruído*. Dissertação de Mestrado em Engenharia do Ambiente, Gestão e Sistemas Ambientais, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Lisboa. Consultado a 15 de Janeiro de 2019 de https://run.unl.pt/bitstream/10362/10856/1/Pereira_2013.pdf
- Portaria n.º 977/2009, de 1 de Setembro – Aprova o Regulamento do Controlo Metrológico dos Sonómetros e revoga a Portaria nº 1069/89, de 13 de Dezembro. (2009). *Diário da República*, 1ª série (Nº169), 5802-5804.

- Roberts, B., Kardous, C., Neitzel, R. (2017). Improving the accuracy of smart devices to measure noise exposure. *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*, 13:11 840–846.
<https://doi.org/10.1080/15459624.2016.1183014>
- Smalt, C.; Lacirignola, J.; Davis S. K.; Calamia, P. T.; Collins, P. P. (2017), Noise dosimetry for tactical environments. *Hearing Research*, 349, 42-54.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.heares.2016.11.008>
- WHO (1999), *Guidelines for Community Noise*. 1ª Edição, Geneva: World Health Organization

APÊNDICE

Registos dos valores de L_{Aeq} e de L_{Cpico} obtidos durante as medições realizadas nas diferentes condições experimentais.

Aplicação: NIOSH	Marca: iphone		Modelo: SE	
Data: 14/12/2018	Calibração Sonómetro: 60,0		Calibração <i>Smartphones/Tablets:</i> -3,5	
L_{Aeq}	Sonómetro		Equipamento	
	L_{Aeq}	L_{Cpico}	L_{Aeq}	L_{Cpico}
60 dB (A)	60,2	78,3	59,5	73,1
65 dB (A)	65,4	82,1	64,5	79,6
70 dB (A)	70,9	84,8	70,4	84,1
75 dB (A)	75,4	90,0	74,8	89,4
80 dB (A)	80,2	94,2	79,6	93,4
85 dB (A)	85,6	99,4	84,9	99,1
90 dB (A)	90,4	104,1	89,8	103,6
Ruído Industrial	81,7	98,9	80,8	97,0

Aplicação: Meter	Marca: iphone		Modelo: SE	
Data: 14/12/2018	Calibração Sonómetro: 60,0		Calibração <i>Smartphones/Tablets:</i> -10	
L_{Aeq}	Sonómetro		Equipamento	
	L_{Aeq}	L_{Cpico}	L_{Aeq}	L_{Cpico}
60 dB (A)	60,2	74,6	59,0	
65 dB (A)	65,7	84,7	67,0	
70 dB (A)	70,6	85,7	70,0	
75 dB (A)	75,8	93,4	74,0	
80 dB (A)	80,4	95,1	77,0	
85 dB (A)	85,8	99,6	82,0	
90 dB (A)	90,5	105,4	82,0	
Ruído Industrial	83,0	100,3	80,0	

Aplicação: Lite	Marca: iphone		Modelo: SE	
Data: 14/12/2018	Calibração Sonómetro: 60,2		Calibração <i>Smartphones/Tablets:</i> -0,2	
LAeq	Sonómetro		Equipamento	
	LAeq	LCpico	LAeq	LCpico
60 dB (A)	60,7	84,9	60,7	
65 dB (A)	69,2	84,4	65,8	
70 dB (A)	70,6	84,8	71,2	
75 dB (A)	75,5	90,3	76,1	
80 dB (A)	80,2	94,1	81,5	
85 dB (A)	85,6	99,8	86,3	
90 dB (A)	90,8	104,4	91,5	
Ruído Industrial	84,1	100,0	85,2	

Aplicação: NIOSH	Marca: iphone		Modelo: 7	
Data: 14/12/2018	Calibração Sonómetro: 60,0		Calibração <i>Smartphones/Tablets:</i> -0,4	
LAeq	Sonómetro		Equipamento	
	LAeq	LCpico	LAeq	LCpico
60 dB (A)	60,0	77,3	59,1	73,1
65 dB (A)	65,4	79,6	64,3	77,8
70 dB (A)	70,7	84,7	69,6	83,4
75 dB (A)	75,4	89,6	74,1	88,3
80 dB (A)	80,4	94,6	79,1	93,1
85 dB (A)	85,5	99,7	84,4	98,1
90 dB (A)	90,3	103,9	89,1	102,9
Ruído Industrial	81,9	99,1	80,7	97,1

Aplicação: Meter	Marca: iphone		Modelo: 7	
Data: 14/12/2018	Calibração Sonómetro: 60,0		Calibração <i>Smartphones/Tablets:</i> -10	
LAeq	Sonómetro		Equipamento	
	LAeq	LCpico	LAeq	LCpico
60 dB (A)	60,3	74,6	59,0	
65 dB (A)	65,3	79,3	64,0	
70 dB (A)	70,5	84,4	69,0	
75 dB (A)	75,5	90,9	74,0	
80 dB (A)	80,0	94,7	77,0	
85 dB (A)	85,7	99,4	82,0	
90 dB (A)	90,2	104,3	85,0	
Ruído Industrial	81,9	100,4	78,0	

Aplicação: Lite	Marca: iphone		Modelo: 7	
Data: 14/12/2018	Calibração Sonómetro: 60,0		Calibração <i>Smartphones/Tablets:</i> +0,8	
LAeq	Sonómetro		Equipamento	
	LAeq	LCpico	LAeq	LCpico
60 dB (A)	60,3	79,8	59,5	
65 dB (A)	65,4	80,2	64,3	
70 dB (A)	71,0	85,3	69,9	
75 dB (A)	75,2	90,5	75,2	
80 dB (A)	80,1	93,8	79,2	
85 dB (A)	85,6	100,2	84,6	
90 dB (A)	90,2	104,1	89,1	
Ruído Industrial	84,4	100,0	83,6	

Aplicação: NIOSH	Marca: ipad		Modelo: 9.4''	
Data: 14/12/2018	Calibração Sonómetro: 60,0		Calibração <i>Smartphones/Tablets:</i> +2,9	
LAeq	Sonómetro		Equipamento	
	LAeq	LCpico	LAeq	LCpico
60 dB (A)	60,0	77,0	58,7	84,4
65 dB (A)	65,3	79,8	63,8	88,1
70 dB (A)	70,5	85,0	68,9	83,5
75 dB (A)	75,5	89,5	73,5	88,2
80 dB (A)	80,0	84,0	78,3	93,2
85 dB (A)	85,5	99,3	83,7	98,2
90 dB (A)	90,4	104,6	88,6	103,7
Ruído Industrial	83,7	99,3	81,6	97,8

Aplicação: Meter	Marca: ipad		Modelo: 9.4''	
Data: 14/12/2018	Calibração Sonómetro: 60,0		Calibração <i>Smartphones/Tablets:</i> -1	
LAeq	Sonómetro		Equipamento	
	LAeq	LCpico	LAeq	LCpico
60 dB (A)	60,1	78,9	60,0	
65 dB (A)	65,4	78,9	65,0	
70 dB (A)	70,5	84,8	70,0	
75 dB (A)	75,4	99,0	75,0	
80 dB (A)	80,0	94,5	80,0	
85 dB (A)	85,5	99,5	84,0	
90 dB (A)	90,4	104,7	87,0	
Ruído Industrial	84,2	100,4	82,0	

Aplicação: Lite	Marca: ipad		Modelo: 9.4''	
Data: 14/12/2018	Calibração Sonómetro: 60,0		Calibração <i>Smartphones/Tablets:</i> +9	
LAeq	Sonómetro		Equipamento	
	LAeq	LCpico	LAeq	LCpico
60 dB (A)	60,1	80,9	60,4	
65 dB (A)	65,2	80,3	65,0	
70 dB (A)	70,3	84,6	70,7	
75 dB (A)	75,5	89,3	75,4	
80 dB (A)	80,0	94,1	79,8	
85 dB (A)	85,6	99,7	85,6	
90 dB (A)	90,3	104,9	90,7	
Ruído Industrial	81,9	98,8	81,0	

Aplicação: Noise Meter	Marca: Tablet Acer		Modelo: Iconia B1-830	
Data: 04/01/2019	Calibração Sonómetro: 59,6		Calibração <i>Smartphones/Tablets:</i> +9	
LAeq	Sonómetro		Equipamento	
	LAeq	LCpico	LAeq	LCpico
60 dB (A)	59,7	74,9	59,1	
65 dB (A)	64,9	79,7	62,0	
70 dB (A)	70,1	83,9	67,9	
75 dB (A)	75,3	88,9	73,0	
80 dB (A)	79,8	94,4	78,1	
85 dB (A)	85,0	99,5	83,1	
90 dB (A)	90,2	105,1	87,7	
Ruído Industrial	88,0	104,7	85,7	

Aplicação: Openoise	Marca: Tablet Acer		Modelo: Iconia B1-830	
Data: 04/01/2019	Calibração Sonómetro: 59,6		Calibração <i>Smartphones/Tablets:</i> +6,9	
LAeq	Sonómetro		Equipamento	
	LAeq	LCpico	LAeq	LCpico
60 dB (A)	59,8	73,9	59,9	
65 dB (A)	64,8	81,2	65,2	
70 dB (A)	70,2	83,6	70,3	
75 dB (A)	75,3	90,1	75,3	
80 dB (A)	79,8	94,2	79,5	
85 dB (A)	85,0	99,0	85,1	
90 dB (A)	89,5	103,7	85,5	
Ruído Industrial	86,9	104,0	84,5	

Aplicação: Noise Meter	Marca: Huawei		Modelo: GR3	
Data: 04/01/2019	Calibração Sonómetro: 59,9		Calibração <i>Smartphones/Tablets:</i> +16,0	
LAeq	Sonómetro		Equipamento	
	LAeq	LCpico	LAeq	LCpico
60 dB (A)	59,7	74,7	60,8	
65 dB (A)	65,3	79,3	66,7	
70 dB (A)	70,3	84,1	70,8	
75 dB (A)	75,5	89,7	76,1	
80 dB (A)	79,9	94,6	81,6	
85 dB (A)	85,2	100,2	86,3	
90 dB (A)	90,0	103,6	89,4	
Ruído Industrial	87,9	103,7	85,8	

Aplicação: Openoise	Marca: Huawei		Modelo: GR3	
Data: 04/01/2019	Calibração Sonómetro: 59,8		Calibração <i>Smartphones/Tablets:</i> -0,2	
LAeq	Sonómetro		Equipamento	
	LAeq	LCpico	LAeq	LCpico
60 dB (A)	59,8	74,4	62,3	
65 dB (A)	64,9	79,8	65,5	
70 dB (A)	70,2	85,0	71,7	
75 dB (A)	75,3	88,8	74,4	
80 dB (A)	80,0	94,7	77,4	
85 dB (A)	85,2	99,4	79,2	
90 dB (A)	90,0	103,8	83,1	
Ruído Industrial	87,8	104,0	77,7	

Aplicação: Noise Meter	Marca: Tablet Huawei		Modelo: MediaPad M3 Lite 10	
Data: 10/01/2019	Calibração Sonómetro: 60,3		Calibração <i>Smartphones/Tablets:</i> +18	
LAeq	Sonómetro		Equipamento	
	LAeq	LCpico	LAeq	LCpico
60 dB (A)	59,7	74,4	59,6	
65 dB (A)	65,2	79,6	65,3	
70 dB (A)	70,1	86,1	70,1	
75 dB (A)	74,7	88,2	74,0	
80 dB (A)	79,9	93,8	79,4	
85 dB (A)	85,3	99,1	81,7	
90 dB (A)	90,2	104,3	83,4	
Ruído Industrial	85,0	101,8	82,5	

Aplicação: Openoise	Marca: Tablet Huawei		Modelo: MediaPad M3 Lite 10	
Data: 10/01/2019	Calibração Sonómetro: 60,2		Calibração <i>Smartphones/Tablets:</i> +8	
LAeq	Sonómetro		Equipamento	
	LAeq	LCpico	LAeq	LCpico
60 dB (A)	60,0	75,1	61,3	
65 dB (A)	65,2	80,0	65,7	
70 dB (A)	70,0	83,8	70,2	
75 dB (A)	75,0	89,2	75,3	
80 dB (A)	80,1	95,0	80,6	
85 dB (A)	84,9	99,2	84,2	
90 dB (A)	89,7	104,0	85,2	
Ruído Industrial	87,3	103,5	85,4	

Aplicação: Openoise	Marca: Tablet Huawei		Modelo: MediaPad M3 Lite 10	
Data: 10/01/2019	Calibração Sonómetro: 60,2		Calibração <i>Smartphones/Tablets:</i> +8	
LAeq	Sonómetro		Equipamento	
	LAeq	LCpico	LAeq	LCpico
60 dB (A)	60,0	75,1	61,3	
65 dB (A)	65,2	80,0	65,7	
70 dB (A)	70,0	83,8	70,2	
75 dB (A)	75,0	89,2	75,3	
80 dB (A)	80,1	95,0	80,6	
85 dB (A)	84,9	99,2	84,2	
90 dB (A)	89,7	104,0	85,2	
Ruído Industrial	87,3	103,5	85,4	

Aplicação: Noise Meter	Marca: Alcatel		Modelo: Pop	
Data: 10/01/2019	Calibração Sonómetro: 60,1		Calibração <i>Smartphones/Tablets:</i> +29	
LAeq	Sonómetro		Equipamento	
	LAeq	LCpico	LAeq	LCpico
60 dB (A)	60,2	73,8	59,2	
65 dB (A)	65,3	79,1	64,1	
70 dB (A)	69,6	84,6	68,1	
75 dB (A)	75,2	88,7	75,9	
80 dB (A)	80,1	94,0	80,9	
85 dB (A)	84,5	98,4	85,4	
90 dB (A)	89,6	103,8	89,9	
Ruído Industrial	86,8	103,2	91,1	

Aplicação: Openoise	Marca: Alcatel		Modelo: Pop	
Data: 10/01/2019	Calibração Sonómetro: 60,0		Calibração <i>Smartphones/Tablets:</i> +5,8	
LAeq	Sonómetro		Equipamento	
	LAeq	LCpico	LAeq	LCpico
60 dB (A)	60,0	74,3	59,4	
65 dB (A)	64,6	78,2	64,9	
70 dB (A)	70,1	84,1	70,2	
75 dB (A)	75,3	89,7	75,8	
80 dB (A)	80,2	93,8	80,5	
85 dB (A)	85,2	99,5	84,7	
90 dB (A)	89,9	104,3	84,5	
Ruído Industrial	84,7	101,6	82,2	

Aplicação: Noise Meter	Marca: Huawei		Modelo: P9	
Data: 10/01/2019	Calibração Sonómetro: 60,0		Calibração <i>Smartphones/Tablets:</i> +7	
LAeq	Sonómetro		Equipamento	
	LAeq	LCpico	LAeq	LCpico
60 dB (A)	59,7	73,7	58,1	
65 dB (A)	65,3	79,9	64,4	
70 dB (A)	70,0	85,0	68,9	
75 dB (A)	74,6	88,6	73,4	
80 dB (A)	79,8	93,9	75,9	
85 dB (A)	85,0	98,7	83,6	
90 dB (A)	90,2	104,9	88,8	
Ruído Industrial	84,7	101,4	82,3	

Aplicação: Openoise	Marca: Huawei		Modelo: P9	
Data: 10/01/2019	Calibração Sonómetro: 60,4		Calibração <i>Smartphones/Tablets:</i> +4,4	
LAeq	Sonómetro		Equipamento	
	LAeq	LCpico	LAeq	LCpico
60 dB (A)	60,4	74,7	60,0	
65 dB (A)	65,4	79,8	64,9	
70 dB (A)	70,1	87,1	69,9	
75 dB (A)	75,1	89,6	75,0	
80 dB (A)	80,2	94,9	79,8	
85 dB (A)	85,0	98,9	85,4	
90 dB (A)	89,8	103,5	88,1	
Ruído Industrial	88,0	104,2	83,6	

Aplicação: Noise Meter	Marca: LG		Modelo: E610	
Data: 25/01/2019	Calibração Sonómetro: 60,2		Calibração Smartphones/Tablets: +7,5	
LAeq	Sonómetro		Equipamento	
	LAeq	LCpico	LAeq	LCpico
60 dB (A)	60,3	75,4	58,5	
65 dB (A)	65,1	79,0	63,8	
70 dB (A)	69,8	85,1	68,5	
75 dB (A)	75,4	89,1	74,1	
80 dB (A)	80,0	93,5	78,5	
85 dB (A)	85,0	98,4	83,5	
90 dB (A)	90,1	103,8	88,5	
Ruído Industrial	84,4	102,8	86,1	

Aplicação: Openoise	Marca: LG		Modelo: E610	
Data: 25/01/2019	Calibração Sonómetro: 60,0		Calibração Smartphones/Tablets: +3,8	
LAeq	Sonómetro		Equipamento	
	LAeq	LCpico	LAeq	LCpico
60 dB (A)	60,1	74,3	60,4	
65 dB (A)	65,1	78,9	65,6	
70 dB (A)	70,2	84,0	70,4	
75 dB (A)	75,2	89,0	75,5	
80 dB (A)	80,2	93,5	80,8	
85 dB (A)	85,1	99,5	85,1	
90 dB (A)	90,3	104,0	90,7	
Ruído Industrial	85,3	103,1	85,7	

Aplicação: Openoise	Marca: Samsung Galaxy J3		Modelo: SM-J320FN	
Data: 25/01/2019	Calibração Sonómetro: 60,0		Calibração <i>Smartphones/Tablets:</i> -16,7	
LAeq	Sonómetro		Equipamento	
	LAeq	LCpico	LAeq	LCpico
60 dB (A)	60,2	73,9	59,5	
65 dB (A)	65,2	79,8	62,9	
70 dB (A)	70,3	84,2	64,6	
75 dB (A)	75,3	89,3	64,6	
80 dB (A)	80,2	93,8	64,5	
85 dB (A)	85,2	99,0	64,7	
90 dB (A)	90,3	103,8	66,4	
Ruído Industrial	86,4	103,1	65,5	

Aplicação: Noise Meter	Marca: Samsung Galaxy J3		Modelo: SM-J320FN	
Data: 25/01/2019	Calibração Sonómetro: 60,1		Calibração <i>Smartphones/Tablets:</i> +7,8	
LAeq	Sonómetro		Equipamento	
	LAeq	LCpico	LAeq	LCpico
60 dB (A)	60,1	74,5	60,0	
65 dB (A)	65,3	78,6	65,3	
70 dB (A)	69,8	83,1	69,7	
75 dB (A)	75,5	89,4	74,7	
80 dB (A)	79,7	93,3	79,5	
85 dB (A)	84,7	98,2	83,0	
90 dB (A)	90,3	104,0	85,1	
Ruído Industrial	84,3	101,1	82,8	

Aplicação: Openoise	Marca: Tablet Asus ZenPadC. 7.0		Modelo: Z170CG	
Data: 25/01/2019	Calibração Sonómetro: 60,1		Calibração <i>Smartphones/Tablets:</i> +15,8	
LAeq	Sonómetro		Equipamento	
	LAeq	LCpico	LAeq	LCpico
60 dB (A)	60,2	74,3	60,5	
65 dB (A)	65,0	78,4	65,7	
70 dB (A)	69,9	83,5	71,6	
75 dB (A)	75,1	89,2	76,8	
80 dB (A)	80,2	93,8	82,2	
85 dB (A)	84,9	98,5	86,1	
90 dB (A)	90,0	103,0	86,6	
Ruído Industrial	86,2	102,8	86,5	

Aplicação: Noise Meter	Marca: Tablet Asus ZenPadC. 7.0		Modelo: Z170CG	
Data: 25/01/2019	Calibração Sonómetro: 60,1		Calibração <i>Smartphones/Tablets:</i> +34,8	
LAeq	Sonómetro		Equipamento	
	LAeq	LCpico	LAeq	LCpico
60 dB (A)	60,3	74,8	60,7	
65 dB (A)	65,2	78,7	71,8	
70 dB (A)	69,7	84,2	82,0	
75 dB (A)	75,3	89,5	85,3	
80 dB (A)	79,8	93,5	87,1	
85 dB (A)	84,7	98,5	89,3	
90 dB (A)	89,9	103,2	90,0	
Ruído Industrial	84,0	101,3	95,0	

Aplicação: Openoise	Marca: Huawei		Modelo: P10 Lite	
Data: 25/01/2019	Calibração Sonómetro: 60,2		Calibração <i>Smartphones/Tablets:</i> +15,0	
LAeq	Sonómetro		Equipamento	
	LAeq	LCpico	LAeq	LCpico
60 dB (A)	60,2	73,5	60,1	
65 dB (A)	65,0	78,7	65,5	
70 dB (A)	70,0	83,7	70,2	
75 dB (A)	75,2	89,1	75,1	
80 dB (A)	80,2	94,3	79,8	
85 dB (A)	85,2	98,8	85,0	
90 dB (A)	90,1	103,7	90,4	
Ruído Industrial	85,9	102,2	87,4	

Aplicação: Noise Meter	Marca: Huawei		Modelo: P10 Lite	
Data: 25/01/2019	Calibração Sonómetro: 60,1		Calibração <i>Smartphones/Tablets:</i> +17,8	
LAeq	Sonómetro		Equipamento	
	LAeq	LCpico	LAeq	LCpico
60 dB (A)	60,1	78,2	60,0	
65 dB (A)	65,2	79,6	65,3	
70 dB (A)	69,8	83,4	69,7	
75 dB (A)	75,4	89,2	74,7	
80 dB (A)	79,9	93,1	80,0	
85 dB (A)	84,7	97,9	84,7	
90 dB (A)	90,2	103,8	89,5	
Ruído Industrial	84,1	100,7	84,2	

Aplicação: Noise Meter	Marca: Tablet Asus		Modelo: K010	
Data: 22/02/2019	Calibração Sonómetro: 59,8		Calibração Smartphones/Tablets: +5,8	
LAeq	Sonómetro		Equipamento	
	LAeq	LCpico	LAeq	LCpico
60 dB (A)	59,8	74,1	59,5	
65 dB (A)	65,1	78,8	64,7	
70 dB (A)	70,0	83,4	69,6	
75 dB (A)	75,3	89,4	74,5	
80 dB (A)	80,3	94,0	78,0	
85 dB (A)	85,3	98,9	80,4	
90 dB (A)	90,2	103,7	82,4	
Ruído Industrial	85,4	102,2	79,6	

Aplicação: Openoise	Marca: Tablet Asus		Modelo: K010	
Data: 22/02/2019	Calibração Sonómetro: 59,7		Calibração Smartphones/Tablets: -8,3	
LAeq	Sonómetro		Equipamento	
	LAeq	LCpico	LAeq	LCpico
60 dB (A)	59,8	74,5	58,4	
65 dB (A)	65,2	79,7	65,5	
70 dB (A)	70,0	83,6	70,5	
75 dB (A)	75,2	90,1	76,5	
80 dB (A)	79,9	93,5	78,8	
85 dB (A)	85,0	98,8	81,4	
90 dB (A)	90,2	103,9	84,3	
Ruído Industrial	85,0	100,7	80,7	

Aplicação: Noise Meter	Marca: Samsung		Modelo: GT-19301L	
Data: 22/02/2019	Calibração Sonómetro: 59,7		Calibração Smartphones/Tablets: +3,1	
LAeq	Sonómetro		Equipamento	
	LAeq	LCpico	LAeq	LCpico
60 dB (A)	59,8	77,0	59,4	
65 dB (A)	65,0	78,8	64,6	
70 dB (A)	69,9	84,0	69,7	
75 dB (A)	75,4	89,3	75,0	
80 dB (A)	80,3	93,5	77,7	
85 dB (A)	85,3	98,9	79,2	
90 dB (A)	90,2	103,8	79,4	
Ruído Industrial	84,9	101,2	79,3	

Aplicação: Openoise	Marca: Samsung		Modelo: GT-19301L	
Data: 22/02/2019	Calibração Sonómetro: 59,8		Calibração Smartphones/Tablets: +3,3	
LAeq	Sonómetro		Equipamento	
	LAeq	LCpico	LAeq	LCpico
60 dB (A)	59,8	74,6	60,0	
65 dB (A)	65,1	78,9	65,4	
70 dB (A)	70,0	83,5	69,7	
75 dB (A)	75,2	89,1	74,8	
80 dB (A)	79,9	94,4	79,6	
85 dB (A)	85,1	98,5	84,9	
90 dB (A)	90,2	103,8	86,0	
Ruído Industrial	85,6	101,1	86,1	

Aplicação: Noise Meter	Marca: Samsung Galaxy Tab		Modelo: SM-T560	
Data: 22/02/2019	Calibração Sonómetro: 59,8		Calibração Smartphones/Tablets: +9,3	
LAeq	Sonómetro		Equipamento	
	LAeq	LCpico	LAeq	LCpico
60 dB (A)	59,9	76,7	59,7	
65 dB (A)	65,2	79,2	65,0	
70 dB (A)	69,8	83,4	69,5	
75 dB (A)	75,3	89,4	75,3	
80 dB (A)	80,2	95,2	79,7	
85 dB (A)	85,3	99,3	82,7	
90 dB (A)	90,2	103,4	83,9	
Ruído Industrial	85,2	100,7	81,3	

Aplicação: Openoise	Marca: Samsung Galaxy Tab		Modelo: SM-T560	
Data: 22/02/2019	Calibração Sonómetro: 59,8		Calibração Smartphones/Tablets: -7,5	
LAeq	Sonómetro		Equipamento	
	LAeq	LCpico	LAeq	LCpico
60 dB (A)	59,9	74,5	60,1	
65 dB (A)	65,2	79,3	65,3	
70 dB (A)	69,9	84,8	70,2	
75 dB (A)	75,2	88,5	75,3	
80 dB (A)	79,9	93,8	79,8	
85 dB (A)	85,0	99,7	82,5	
90 dB (A)	90,4	104,4	84,2	
Ruído Industrial	85,9	101,7	81,5	

Aplicação: Noise Meter	Marca: Samsung Galaxy Grand		Modelo: GT-19082	
Data: 22/02/2019	Calibração Sonómetro: 60,2		Calibração Smartphones/Tablets: +4,4	
LAeq	Sonómetro		Equipamento	
	LAeq	LCpico	LAeq	LCpico
60 dB (A)	59,7	74,1	60,8	
65 dB (A)	65,1	79,1	65,7	
70 dB (A)	69,7	84,1	69,0	
75 dB (A)	75,4	88,8	75,2	
80 dB (A)	80,2	93,8	79,9	
85 dB (A)	85,3	98,8	82,2	
90 dB (A)	90,3	104,5	83,6	
Ruído Industrial	85,0	102,6	82,7	

Aplicação: Oponoise	Marca: Samsung Galaxy Grand		Modelo: GT-19082	
Data: 22/02/2019	Calibração Sonómetro: 59,8		Calibração Smartphones/Tablets: +1,6	
LAeq	Sonómetro		Equipamento	
	LAeq	LCpico	LAeq	LCpico
60 dB (A)	59,8	73,7	61,6	
65 dB (A)	65,1	78,9	66,3	
70 dB (A)	69,9	84,0	71,8	
75 dB (A)	75,3	88,9	77,2	
80 dB (A)	79,9	94,1	81,3	
85 dB (A)	85,1	98,9	86,7	
90 dB (A)	90,2	104,3	92,1	
Ruído Industrial	85,5	102,8	86,3	